

N° d'ordre : 2006-15

N° de série : C-86

# THESE

présentée devant

**L' ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE  
RENNES**

**POUR OBTENIR LE TITRE DE DOCTEUR DE L'ENSAR**

Mention : **Biologie et Agronomie**

par **Emmanuel SEKLOKA**

*Titre :*

**Amélioration de l'efficacité de la sélection pour le rendement  
en coton graine du cotonnier *Gossypium hirsutum* L. dans un  
contexte de nouveaux itinéraires techniques**

Préparée au CRA-CF/INRAB (Parakou, Bénin) et au CIRAD-CA (Montpellier, France)

Soutenue publiquement le 23 Mai 2006 devant le Jury composé de :

**M. Pr. G. THOMAS  
M. Pr P. GRIEU  
M. P. DEBAEKE  
M. J. LANÇON  
M. B. HAU  
M. E. GOZÉ  
M. C. CILAS**

**Directeur de thèse  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur  
Examineur**

---

## REMERCIEMENTS

---

### Aux principaux intervenants institutionnels :

La Coopération française, à travers l'ambassade de France à Cotonou pour avoir financé les travaux de terrain et mes séjours en France dans le cadre du projet d'appui à la recherche cotonnière du Bénin, PARCOB.

L'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), et plus précisément le Centre de Recherches Agricoles Coton et Fibres (CRA-CF) pour la confiance qu'il a placée en moi et pour sa participation financière et matériel aux travaux de terrain.

Le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) qui a constitué pour moi une structure d'accueil idéale pour mes stages en France.

### Au principaux intervenants Scientifiques :

MM. Jacques LANÇON et Bernard HAU pour avoir accepté de m'encadrer. Ils ont donné corps à mon travail et m'ont permis de mieux percevoir la cohérence d'un ensemble de résultats pas toujours facile à interpréter ; je leur témoigne ma profonde gratitude pour leur disponibilité et leur patience.

Le Professeur Grégoire THOMAS pour l'intérêt qu'il a manifesté dès le début de mes travaux et pour avoir accepté, malgré de grandes responsabilités, de diriger cette thèse et de m'apporter ses conseils.

MM. Philippe GRIEU et Philippe DEBAEKE, les deux rapporteurs de ma thèse, pour avoir accepté la tâche de juger mon travail malgré de grandes obligations.

Les différents chercheurs du CIRAD qui m'ont appuyer d'une manière ou d'une autre. Je pense en particulier à Sylvie LEWICKI qui était responsable du projet PARCOB et qui a tout mis en œuvre pour faciliter l'aboutissement heureux de ce travail ; je pense également à Eric GOZÉ et Christian CILAS pour l'appui à l'analyse statistique des données, Michel CRETENET, Jean Marc LACAPE et Michel FOK pour l'appui à la documentation.

Mes collègues chercheurs et techniciens du CRA-CF, en particulier ceux de la division génétique pour leur disponibilité et leur sérieux dans la conduite des travaux de terrain. Qu'ils m'excusent de ne pas pouvoir les citer nommément.

### A ma famille :

Olivia, Murielle et Cathérine qui ont souffert pendant tout ce temps de mes absences répétées à leur côté. Qu'elles trouvent ici le fruit de leur privation. Je n'oublie pas mon papa, ainsi que tous mes frères, sœurs et amis qui ont toujours su me soutenir et manifester leur présence auprès de ma petite famille pendant mes longues périodes d'absence. Qu'ils m'excusent de n'avoir pas pu les citer tous nommément.

A Jocelyne SALLIN et Liliane DE CLOET pour leur sympathie, leur affection et pour toutes les dispositions administratives qu'elles ont toujours su prendre pour faciliter mes séjours au CIRAD.



# TABLE DES MATIERES

Chapitre	Page
TABLE DES MATIERES.....	3
LISTE DES PRINCIPALES ABREVIATIONS UTILISEES.....	6
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTE DES FIGURES.....	10
INTRODUCTION GENERALE.....	12
1- INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE.....	15
1.1- CONNAISSANCE DU COTONNIER .....	15
1.1.1- Classification, origine et domestication des espèces cultivées.....	15
1.1.2- Les différentes parties du plant de cotonnier.....	16
1.1.3- Le régime de reproduction.....	17
1.1.4- Le mode de croissance et développement de la plante .....	18
1.1.5- Chronologie d'apparition et position des sites fructifères.....	20
1.1.6- Production de sites fructifères et répartition de la production capsulaire.....	21
1.2- AMELIORATION GENETIQUE DU COTONNIER .....	23
1.2.1- Généralités sur la sélection du cotonnier.....	23
1.2.2- Les principales méthodes de sélection.....	24
1.2.3- Amélioration génétique du rendement chez le cotonnier .....	25
1.3- ADAPTATION DES VARIETES ET DES ITINERAIRES TECHNIQUES AUX CONTRAINTES DE LA CULTURE PLUVIALE.....	27
1.3.1- Description globale des effets d'un stress hydrique chez le cotonnier .....	27
1.3.2- Mécanismes d'adaptation aux stress hydriques en culture pluviale.....	28
1.3.3- Amélioration de la production cotonnière en culture pluviale.....	30
a- Approche culturale.....	30
b- Approche variétale.....	32
1.3.4- La culture "Ultra Narrow Row Cotton (UNRC)" .....	32
a- Définition et avantages.....	33
b- Adaptation variétale aux itinéraires techniques à fortes densités.....	34
1.4- PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....	35
2- MATERIELS ET METHODES .....	37
2.1- DISPOSITIFS GENERAUX D'EXPERIMENTATION .....	37
2.1.1- Sites.....	37
2.1.2- Itinéraires techniques.....	38
2.1.3- Traitements étudiés .....	39
a- Variété.....	39
b- Densité.....	40
c- Date de semis.....	40
2.1.4- Dispositif.....	40
2.1.5- Variables observées.....	41
a- Développement végétatif.....	41
b- Développement reproducteur.....	41
c- Répartition de la production capsulaire à l'échelle de la plante.....	42
2.2- METHODES D'ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX .....	44
2.2.1- Analyse statistique.....	44
2.2.2- Etude de régularité de performance.....	45
2.2.3- Identification des variables explicatives du rendement .....	45
2.3- METHODE D'ESTIMATION DE L'HERITABILITE DES CARACTERES .....	46
3- RESULTATS .....	47

<b>3.1- METHODE SIMPLIFIEE POUR ESTIMER LA DATE DE FIN DE CROISSANCE VEGETATIVE (CUTOUT) CHEZ LE COTONNIER GOSSYPIUM HIRSUTUM L. EN CULTURE PLUVIALE</b>	<b>47</b>
3.1.1- <i>Introduction</i>	47
3.1.2- <i>Observation du NAWF en fin de végétation (DDFU)</i>	48
3.1.3- <i>Estimation de la date de fin de végétation à partir de la date d'apparition de la dernière fleur donnant une capsule en position 1 (DDFP1)</i>	48
3.1.4- <i>Etude de la date d'apparition de la dernière fleur donnant une capsule en position 1 des branches fructifères (DDFP1)</i>	49
a- Effet génétique et héritabilité	49
b- Corrélations avec les autres indicateurs de phénologie	49
c- Estimation simplifiée et indirecte de DDFP1	49
3.1.5- <i>Conclusion</i>	50
<b>3.2- CARACTERES DE MORPHOGENESE ET RENDEMENT EN COTON GRAINE: EFFETS DU MILIEU ET ETUDES GENETIQUES</b>	<b>52</b>
3.2.1- <i>Durée de floraison</i>	52
a- Introduction	52
b- Effet de la date de semis et de la densité sur la floraison	52
c- Variabilité génétique des indicateurs de floraison	53
d- Conclusions	54
3.2.2- <i>Morphologie</i>	56
a- Introduction	56
b- Tailles des cotonniers (HT)	56
c- Hauteurs d'entre-nœud sur la tige principale (HNR : « height to node ratio »)	57
d- Nombres de nœuds sur la tige principale (NN)	58
e- Nombres de branches végétatives (NBV)	59
f- Longueurs de branches végétatives (LBV)	60
g- Longueurs de branches fructifères (LBF)	61
h- Conclusions	62
3.2.3- <i>Sites fructifères, taux de rétention, production capsulaire et répartition sur le plant</i>	64
a- Introduction	64
b- Sites fructifères (SPP)	64
c- Taux de rétention global (RG)	65
d- Taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1)	66
e- Nombre de capsules par plant (CPP)	67
f- Poids moyen d'une capsule (PMC)	68
g- Pourcentage de capsules portées par les branches végétatives (%CBV)	69
h- Identification des parties les plus chargées en fruits au niveau du plant en fonction des dates de semis et des densités	70
i- Pourcentage de capsules présentes sur les 7 premières branches fructifères par rapport au nombre total du capsules du plant (%CBF1_7)	71
j- Conclusions	72
3.2.4- <i>Rendement en coton graine</i>	75
a- Introduction	75
b- Effet du site	75
c- Effet de la date de semis	75
d- Effet de la densité	76
e- Effet de la variété	76
f- Régularité du rendement des variétés aux deux dates de semis	76
g- Régularité de rendement en fonction des densités	77
h- Conclusions	78
<b>3.3- ETUDE SYNTHESE : STRATEGIES DE MISE EN PLACE DE LA PRODUCTION ET CRITERES DE SELECTION</b>	<b>80</b>
3.3.1- <i>Introduction</i>	80
3.3.2- <i>Description synthétique des variétés testées</i>	80
3.3.3- <i>Les stratégies variétales liées à la production</i>	82
3.3.4- <i>Héritabilité des critères pertinents et stratégies de sélection</i>	83
3.3.5- <i>Capacité de prédiction du comportement des variétés en semis tardif forte densité à partir d'observations réalisées en semis précoce à densité normale</i>	85
3.3.6- <i>Stratégie de sélection de l'idéotype H 279-1</i>	85
3.3.7- <i>Stratégie de sélection de l'idéotype Guazuncho II</i>	86
3.3.8- <i>Stratégie de sélection de l'idéotype Mar 88-214</i>	86
3.3.9- <i>Conclusions</i>	87



<b>4- DISCUSSION GENERALE.....</b>	<b>89</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>97</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>108</b>

## LISTE DES PRINCIPALES ABREVIATIONS UTILISEES

Abrégé	Signification	Unité
<b>Morphologie</b>		
P1	Première position de branche fructifère	
BF	Branche fructifère	
BV	Branche végétative	
HT	Hauteur de la tige principale	cm
NN	Nombre de nœuds sur la tige principale	
HNR	Longueur d'entrenœud ("height to node ratio")	cm
NBV	Nombre de branches végétatives	
LBV	Longueur de la plus longue branche végétative	cm
LBF	Longueur de la plus longue branche fructifère	cm
<b>Phénologie</b>		
jal	Jours après levée	
NAWF	«Node above white flower » : nombre de noeuds au dessus de la dernière fleur en première position de branche fructifère	
NPBF	Nœud de la première branche fructifère	
PFM	Date moyenne d'apparition de la première fleur	jal
OPCM	Date moyenne d'ouverture de la première capsule	jal
R1/RT	Précocité de production	%
DDFU	Date de la dernière fleur utile	jal
DDFP1	Date de la dernière fleur en P1 ayant donnée de capsule	jal
TFU	Temps de floraison utile	jours
<b>Production de sites, rétention, répartition capsulaire et rendement</b>		
SPP	Nombre de sites fructifères par plant	
SBF	Nombre de sites sur branches fructifères	
SBV	Nombre de sites sur branches végétatives	
RG	Taux de rétention capsulaire sur l'ensemble des sites	%
RP1	Taux de rétention capsulaire en première position de BF	%
CPP	Nombre de capsules par plant	
CBF	Nombre de capsules sur branches fructifères	
CBV	Nombre de capsules sur branches végétatives	
PMC	Poids moyen capsulaire	g
%CBV	Pourcentage de capsules sur BV	%
%CBF1_7	Pourcentage de capsules portées par les 7 premières BF	%
<b>Statistique et divers</b>		
LSD	« least significant difference » : plus petite différence significative	
ns	Non significatif au seuil de 5%	
<b>Institutions et Divers</b>		
INRAB	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin	
CIRAD	Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement	
CRA-CF	Centre de Recherches Agricoles Coton et Fibres	
PARCOB	Projet d'appui à la Recherche Cotonnière du Bénin	
CMI	Chaîne de mesure instrumentale	



---

## LISTE DES TABLEAUX

---

- Tableau 0-1 : Superficie, rendement, production, consommation, importation et exportation de coton dans les principaux pays producteurs du monde en 2004-2005
- Tableau 1-1 : Quelques taux d'allogamie mesurés en station d'expérimentation en Afrique
- Tableau 1-2 : Effet de la protection phytosanitaire (pyréthrinoïde), de la distance à la source de pollen (Cameroun, 1987) ou de la densité (Côte d'Ivoire, 1989) sur le taux d'allogamie
- Tableau 1-3 : Caractères morphologiques
- Tableau 1-4 : Caractères agronomiques
- Tableau 1-5 : Caractéristiques technologiques
- Tableau 1-6 : Chronologie du schéma d'amélioration variétale au Bénin
- Tableau 2-1 : Caractéristiques moyennes des sols en 2002 pour l'horizon 0-20 cm
- Tableau 2-2 : Description des essais
- Tableau 2-3 : Origine et caractérisation des géotypes classés selon leur précocité
- Tableau 2-4 : Variables de caractérisation morphologique des variétés
- Tableau 2-5 : Variables de caractérisation de la durée du cycle
- Tableau 2-6 : Variables utilisées pour décrire la répartition capsulaire
- Tableau 2-7 : Estimation des paramètres génétiques
- Tableau 3-1 : NAWF correspondant aux dates de dernière fleur utile (DDFU) dans les situations testées
- Tableau 3-2 : Nombre des plants ayant leur dernière capsule en première position (P1) de branche fructifère (BF) rapporté au nombre total de plants observés
- Tableau 3-3 : DDFP1 moyenne par variété et par essai (en nombre de jours après la levée)
- Tableau 3-4 : Coefficients d'héritabilité de la DDFP1
- Tableau 3-5 : Coefficients de corrélation de la DDFP1 avec les variables de précocité
- Tableau 3-6 : Equations de régression du nombre de nœud fructifère en fonction du nombre de jours après levée
- Tableau 3-7 : Effet significatif du retard de semis et de la haute densité de culture sur la date d'apparition de première fleur (PFM, en nombre de jours après levée)
- Tableau 3-8 : Effets des dates de semis et des densités de culture sur la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1, exprimée en jours après levée)
- Tableau 3-9 : Effet significatif du retard de semis et de la haute densité de culture sur le temps de floraison utile (TFU, exprimé en jours)
- Tableau 3-10 : Effets de la variété sur le temps de floraison utile (TFU, exprimé en jours)
- Tableau 3-11 : Taille moyenne des cotonniers par variété dans les différents itinéraires techniques
- Tableau 3-12 : Longueur moyenne des entrenœuds de la tige principale (HNR) aux deux dates de semis (cm)
- Tableau 3-13 : Longueur moyenne des entrenœuds de la tige principale (HNR) aux trois densités de plantation (cm)
- Tableau 3-14 : Longueur moyenne des entrenœuds de la tige principale par variété aux deux dates de semis et aux trois densités
- Tableau 3-15 : Nombre de nœuds par date de semis dans les deux lieux

Tableau 3-16 : Nombre moyen de nœuds par variété dans les différents itinéraires techniques testés

Tableau 3-17 : Nombre moyen de branches végétatives par plant aux deux dates de semis dans les différents essais

Tableau 3-18 : Nombre moyen de branches végétatives par plant et par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-19 : Longueur des branches végétatives (LBV) par date de semis dans les quatre essais

Tableau 3-20 : Longueur moyenne des branches végétatives par densité et par essai

Tableau 3-21 : Longueur moyenne des branches végétatives par densité et par date de semis

Tableau 3-22 : Longueur moyenne des branches végétatives par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-23 : Longueur des branches fructifères (LBF) par date de semis et par essai

Tableau 3-24 : Longueur moyenne des branches fructifères par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-25 : Nombre moyen de sites par plant par date de semis et par essai

Tableau 3-26 : Nombre moyen de sites par plant aux deux dates de semis et aux trois densités testées

Tableau 3-27 : Taux de rétention global par date de semis et par lieu

Tableau 3-28 : Taux de rétention global par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-29 : Taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1) par date de semis et par essai

Tableau 3-30 : Taux de rétention sur les premières positions de BF (RP1) par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-31 : Nombre moyen de capsules par plant par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-32 : Poids moyen capsulaire par date de semis dans les deux lieux et aux deux années

Tableau 3-33 : Poids moyen capsulaire par date de semis et par densité

Tableau 3-34 : Poids moyen capsulaire par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-35 : Pourcentage de capsule sur BV par date de semis et par densité dans les différents essais (année\* lieu)

Tableau 3-36 : pourcentage de capsules sur branches végétatives par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-37 : Pourcentage cumulé de capsules par position de branche fructifère aux deux dates de semis

Tableau 3-38 : Pourcentage cumulé de capsules par position de branche fructifère à faible et à forte densité

Tableau 3-39 : Pourcentage de capsules portées par les 7 premières branches fructifères (%CBF1\_7) par date de semis et par densité dans les quatre essais

Tableau 3-40 : Pourcentage de capsules sur les 7 premières branches fructifères (%CBF1\_7) au deux dates de semis et aux trois densités

Tableau 3-41 : Rendement par date de semis dans les deux lieux et aux deux années

Tableau 3-42 : Rendement moyen des variétés dans les différents itinéraires techniques

Tableau 3-43 : Nombre de moyennes observées dans chaque classe de rendement en fonction de la date de semis



Tableau 3-44 : Nombre de moyennes observées dans chaque classe de rendement en fonction de la densité

Tableau 3-45 : Moyenne génétique en semis précoce à densité normale : valeurs structurantes pour l'ACP

Tableau 3-46 : Moyenne génétique : variables complémentaires

Tableau 3-47 : Critères descriptifs de trois types adaptés à différentes situations explorées par l'expérimentation et d'un type non adapté.

Tableau 3-48 : Héritabilité au sens large des caractères liés à la production et intervalles de confiance associés

## LISTE DES FIGURES

- Figure 0-1 : Distribution mondiale des zones de culture cotonnière (Matthews, 1989)
- Figure 0-2 : Production de coton graine (milliers de tonnes) dans 9 pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre : campagne 2004-2005 (ICAC, 2005)
- Figure 0-3 : Evolution de la production cotonnière au Bénin depuis son introduction
- Figure 1-1 : Structure d'une plante de cotonnier montrant les nœuds de la tige principale, une branche végétative, les branches fructifères, les capsules, une fleur blanche
- Figure 1-2 : Formes de feuille couramment rencontrées chez le cotonnier *Gossypium hirsutum* L.
- Figure 1-3 : Différents stades de l'organe reproducteur chez le cotonnier *Gossypium hirsutum* L.
- Figure 1-4 : Le cycle de production du cotonnier (Cretenet, 2006)
- Figure 1-5 : Courbe de référence pour la croissance du cotonnier (Oosterhuis et al., 1994; 1996)
- Figure 1-6 : Représentation schématique des branches fructifères (BF) et des positions (P) de branche fructifère
- Figure 1-7 : Etalement des dates de semis en culture cotonnière au Bénin (source : enquête PARCOB 2002-2005)
- Figure 2-1 : Carte du Bénin avec les sites d'expérimentation de Cana et d'Okpara
- Figure 2-2 : Pluviométrie décadaire et évolution du NAWF à Okpara au cours des saisons 2002-2003 et 2003-2004 (relevés effectués pour 6 variétés : Chaco 520, Irma A 1042, Mar 88-214, Oultan, S 188 et Stam 18 A)
- Figure 2-3 : Pluviométrie décadaire et évolution du NAWF à Cana au cours des saisons 2002-2003 et 2003-2004 (relevés effectués pour 6 variétés : Chaco 520, Irma A 1042, Mar 88-214, Oultan, S 188 et Stam 18 A)
- Figure 2-4 : Photos de quelques variétés expérimentées dans le cadre de ce travail
- Figure 2-5 : Vues partielles des champs d'essai en 2003 à Cana et à Okpara
- Figure 3-1 : Relation entre la date de la dernière fleur utile (DDFU) et la date de la dernière fleur retenue en première position de branche fructifère (DDFP1)
- Figure 3-2 : Date de la dernière fleur retenue en première position de branche fructifère (DDFP1) : comparaison des valeurs estimées aux valeurs observées.
- Figure 3-3 : Variabilité génétique pour la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) et pour la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1).
- Figure 3-4 : Variabilité du temps de floraison utile en fonction de la date de la première fleur
- Figure 3-5 : Hauteur de la tige principale par variété et par date de semis à Okpara
- Figure 3-6 : Hauteur de la tige principale par variété et par date de semis à Cana
- Figure 3-7 : Nombre de nœuds par variété et par essai
- Figure 3-8 : Longueur moyenne des branches végétatives par variété et par année
- Figure 3-9 : Longueur moyenne des branches fructifères par variété, par date de semis et par lieu
- Figure 3-10 : Relation génétique entre nombre de site et taux moyen de rétention
- Figure 3-11 : Variabilité génétique du taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1) en fonction du nombre de site fructifère par plant (SPP)
- Figure 3-12 : Analyse en Composantes Principales : relation entre variables
- Figure 3-13 : Analyse en Composantes Principales : relation entre individus



Figure 3-14 : Corrélations positives et significatives entre itinéraires techniques pour HT, HNR, LBF et PFM

Figure 3-15 : Corrélations positives, mais non significatives entre itinéraires techniques pour TFU, NBV, LBV et RP1

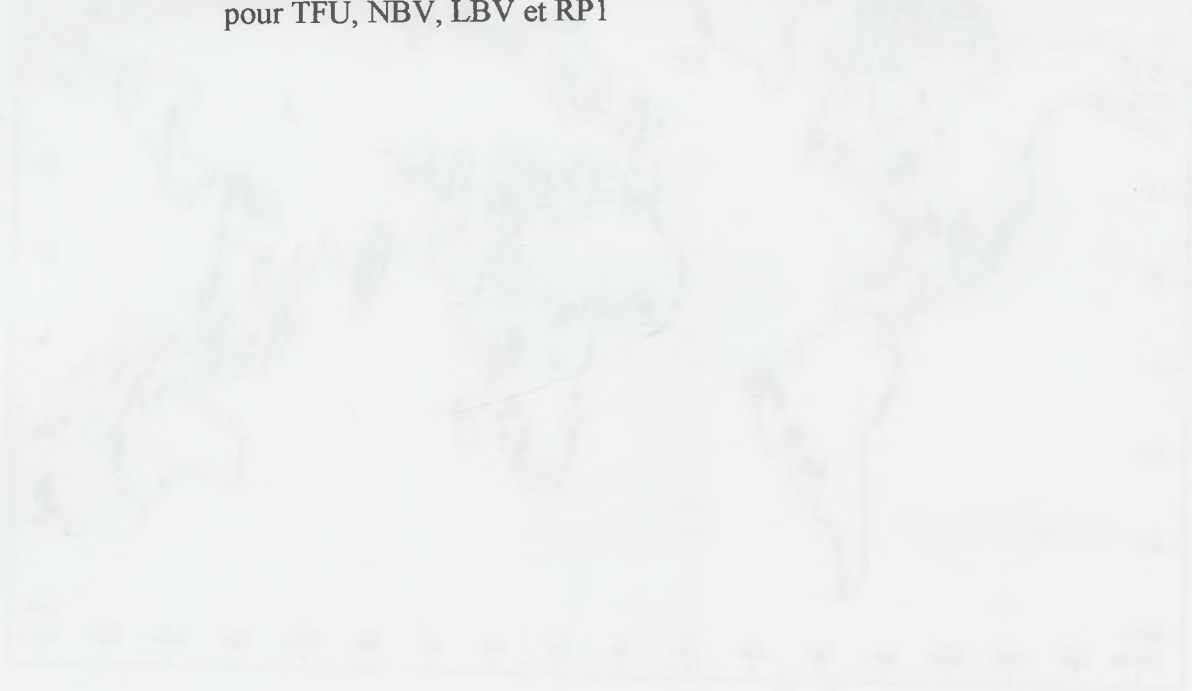
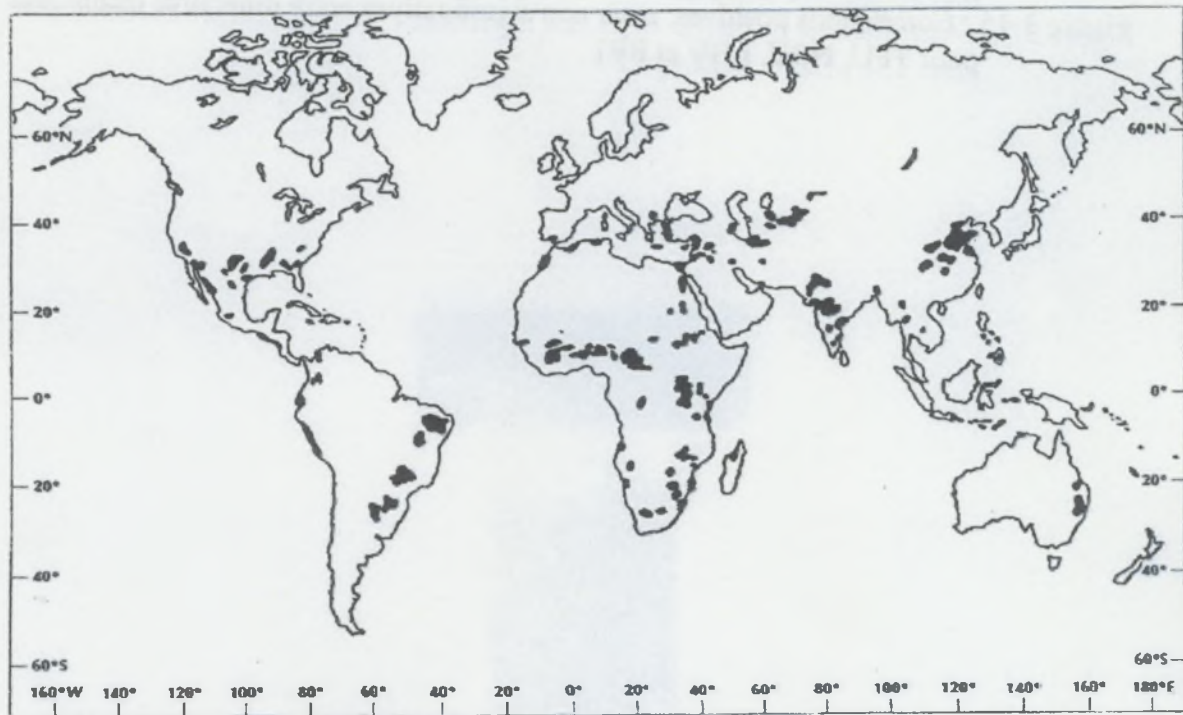


Figure 3-15 : Corrélations positives, mais non significatives entre itinéraires techniques pour TFU, NBV, LBV et RP1



**Figure 0-1 : Distribution mondiale des zones de culture cotonnière (Matthews, 1989)**



---

## INTRODUCTION GENERALE

---

La culture cotonnière est répartie sur les cinq continents, entre 45° de latitude Nord et 30° de latitude Sud (Matthews, 1989) (Figure 0-1). L'essentiel de la production fait l'objet d'une exploitation industrielle, son utilisation artisanale étant de plus en plus limitée.

Le coton est surtout produit pour la fibre. Les utilisations sous forme de tissus ou de tricot, mais aussi de fil et de fibre, sont nombreuses. La première d'entre elle reste la confection destinée à l'habillement, qui consomme plus de 50% de la production mondiale. Viennent ensuite le linge et les articles domestiques à hauteur de 30% (serviette, draps, couvertures, rideaux) et enfin les produits industriels (fournitures médicales, bâches, fil, chaussure...). (Bachelier, 1998).

La valorisation de la graine de coton est aussi une activité très importante. Les graines issues de l'égrenage sont valorisées soit sous forme de semence, soit par une exploitation en huilerie. Cette dernière consomme les tonnages les plus élevés. Chez *G. hirsutum*, les graines contiennent en effet 20 à 25% d'huile, sous forme d'acide gras polyinsaturé (acide linoléique et oléique) et saturés (acide palmitique). Elle est destinée au marché des huiles de table, des savons et des produits cosmétiques. De plus, les graines possèdent une teneur de 20 à 30% de protéine, permettant d'orienter les tourteaux, issus de l'extraction de l'huile, vers l'alimentation des ruminants.

Les cotonniers sont naturellement porteurs de glandes au niveau de tous les organes aériens à l'exception de la fibre et du tégument de la graine. D'une taille de quelques dixièmes de millimètres, elles contiennent notamment des substances terpénoïques, protégeant partiellement la plante contre les prédateurs. Parmi ces substances, le gossypol, toxique pour les monogastriques, a été le plus étudié. La mise en évidence, dans les années 50, du contrôle génétique de ces glandes a conduit à la création de variétés dites glandless. Dépourvues de glandes à gossypol, leurs graines sont exploitées pour la production de farines destinées à l'alimentation humaine ou à celle des animaux monogastriques.

La surface emblavée en coton dans le monde couvre actuellement environ 2,2% des terres arables, soit plus de 30 millions d'hectares. Sa progression moyenne est de 84 000 ha par an depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Sur la même période, le rendement moyen en fibre a été multiplié par trois, atteignant près de 600 kg/ha en 1991-1992, selon une progression moyenne annuelle de 8 kg/ha. Une relative stagnation du rendement en coton graine est cependant observée depuis les années 90. La production mondiale de fibre de coton, qui se situait à peine à 5 millions de tonnes dans les années 40 a dépassé 20 millions de tonnes en 1995-1996. Elle a atteint 26 millions de tonnes en 2004-2005 (ICAC, 2005; Estur, 2006). L'importance économique et sociale du coton s'exprime aussi au niveau de la transformation industrielle du coton qui a participé au développement industriel des pays européens puis des Etats-Unis, et aujourd'hui des pays d'Asie.

Les principaux pays producteurs sont la Chine, les USA, l'Inde, le Pakistan. En 2004-2005, ces 4 pays ont assuré 68% de la production mondiale de fibre (Tableau 0-1). Le

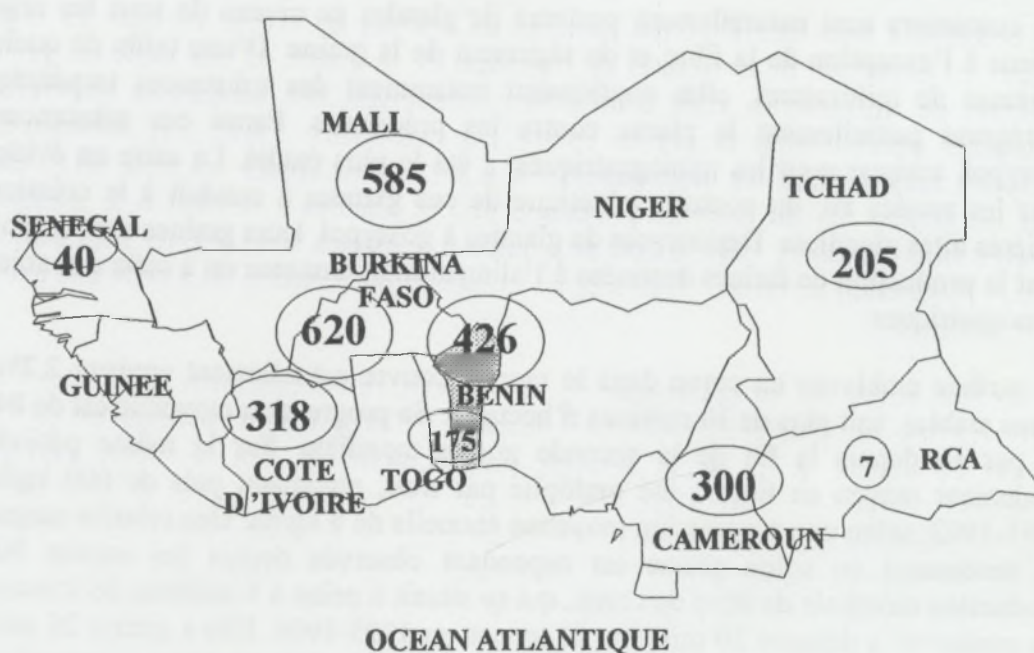
**Tableau 0-1 : Superficie, rendement, production, consommation, importation et exportation de coton dans les principaux pays producteurs du monde en 2004-2005**

Pays	Superficie (x1000 ha)	Rendement <sup>2</sup> kg/ha	Production	Consommation (x1000 tonnes de fibre de coton)	Importation	Exportation
Chine	5650	1119	6320	8200	1394	7
USA	5284	958	5062	1361	7	3048
Inde	9300	439	4080	3300	150	175
Pakistan	3229	769	2482	2300	325	85
Brésil	1172	1124	1318	935	48	360
Afrique francophone <sup>1</sup>	2564	443	1135	28	0	952
Monde	35757	733	26204	23400	7131	7653

(<sup>1</sup>): 11 pays francophones de l'Afrique de l'Ouest et du centre: Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Rép. centrafricaine, Tchad, Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Niger, Sénégal, Togo

(<sup>2</sup>): Rendement en fibre à l'hectare

Source: ICAC, 2005



**Figure 0-2 : Production de coton graine (milliers de tonnes) dans 9 pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre : campagne 2004-2005 (ICAC, 2005)**



Brésil intervient en cinquième position. La Chine est, depuis plus de 20 ans, le premier producteur, le premier importateur et le premier consommateur mondial. Quant à l'Inde, troisième producteur mondial, elle est le deuxième consommateur de coton à cause des besoins de son industrie textile en plein essor. Les Etats-Unis sont deuxième producteur mondial et premier exportateur (ICAC, 2005; Estur, 2006). Ils subventionnent fortement leurs agriculteurs. Ils ont cependant de plus en plus d'excédents à exporter à cause du déclin de leur industrie textile, et ces excédents perturbent le marché mondial au détriment des pays du sud qui produisent sans aucune aide. La récolte des Etats-Unis et les besoins de la Chine ont une forte influence sur les variations du prix mondial.

En Afrique et principalement dans les pays francophones d'Afrique de l'Ouest et du Centre (Figure 0-2), les superficies cotonnières représentent environ 3% des surfaces cultivées. Le coton représente en moyenne dans ces pays 15 à 20% des surfaces des exploitations pratiquant cette culture (Lacape, 1998). D'après les statistiques de ICAC (2005), cet ensemble de pays, avec plus de 2,5 millions de tonnes de coton graine et plus de 1000 000 tonnes de fibres produites au cours de la saison 2004/2005 se place au 6<sup>ème</sup> rang mondial pour la production (Estur, 2006). Cette production est exportée à 95% et ce groupe de pays représente environ 12% des exportations mondiales, au second rang des exportateurs après les USA (ICAC, 2005). Dans ces pays, le coton est à la base du développement rural. On considère que le coton constitue la source principale de revenus monétaires pour plus de 12 millions de ruraux, sur une population totale d'environ 73 millions d'habitants, et à l'échelle nationale les filières cotonnières participent de façon importante au développement économique.

Au Bénin, la filière cotonnière constitue pour plusieurs raisons la source principale de croissance de l'économie nationale. La production cotonnière s'est accrue ces dix dernières années (en moyenne de 6,6% l'an) avant de se stabiliser aux environs de 350000 tonnes, ces deux dernières campagnes. Néanmoins, il demeure le produit le plus important dans l'économie nationale. Au cours de la période 1990 à 2002, la production cotonnière de fibre a constamment progressé passant de 43 000 tonnes à 172000 tonnes ; soit une progression de 300%. Cette production moyenne annuelle de coton graine estimée à 350000 tonnes représente environ 100 milliards de francs CFA qui sont versés à plus de 325000 exploitants agricoles, procurant ainsi des revenus monétaires à environ 3 millions de personnes. Les exportations de coton participent pour 80% à la constitution des recettes d'exportation officielles. La filière représente 45% des rentrées fiscales (hors douane) et contribue en terme de valeur ajoutée pour 14% à la formation du PIB national. Sur le plan industriel, le coton représente environ 60% du tissu industriel du Bénin à travers 18 usines d'égrenage, 5 unités de textile, 3 usines de trituration des graines de coton et une usine de fabrication de coton hydrophile. Les activités d'égrenage au cours d'une campagne d'environ six mois génèrent plus de 3.500 emplois au plan national. Le revenu du coton crée par ailleurs des emplois à travers ses effets multiplicateurs dans le transport, l'artisanat, le commerce et la construction. En milieu rural, plusieurs infrastructures sociocommunitaires (centres de santé, écoles, routes, puits, maisons des jeunes et des loisirs, etc.) ont été réalisées grâce aux revenus procurés par le coton. Enfin, le coton a servi de tremplin au dynamisme du secteur privé et des organisations paysannes. C'est pour tout cela, que la filière est perçue comme un outil stratégique puissant et privilégié de lutte contre la pauvreté. Malheureusement, la filière cotonnière connaît depuis quelques années des perturbations qui ont des répercussions négatives sur le rendement de la culture et la production nationale:

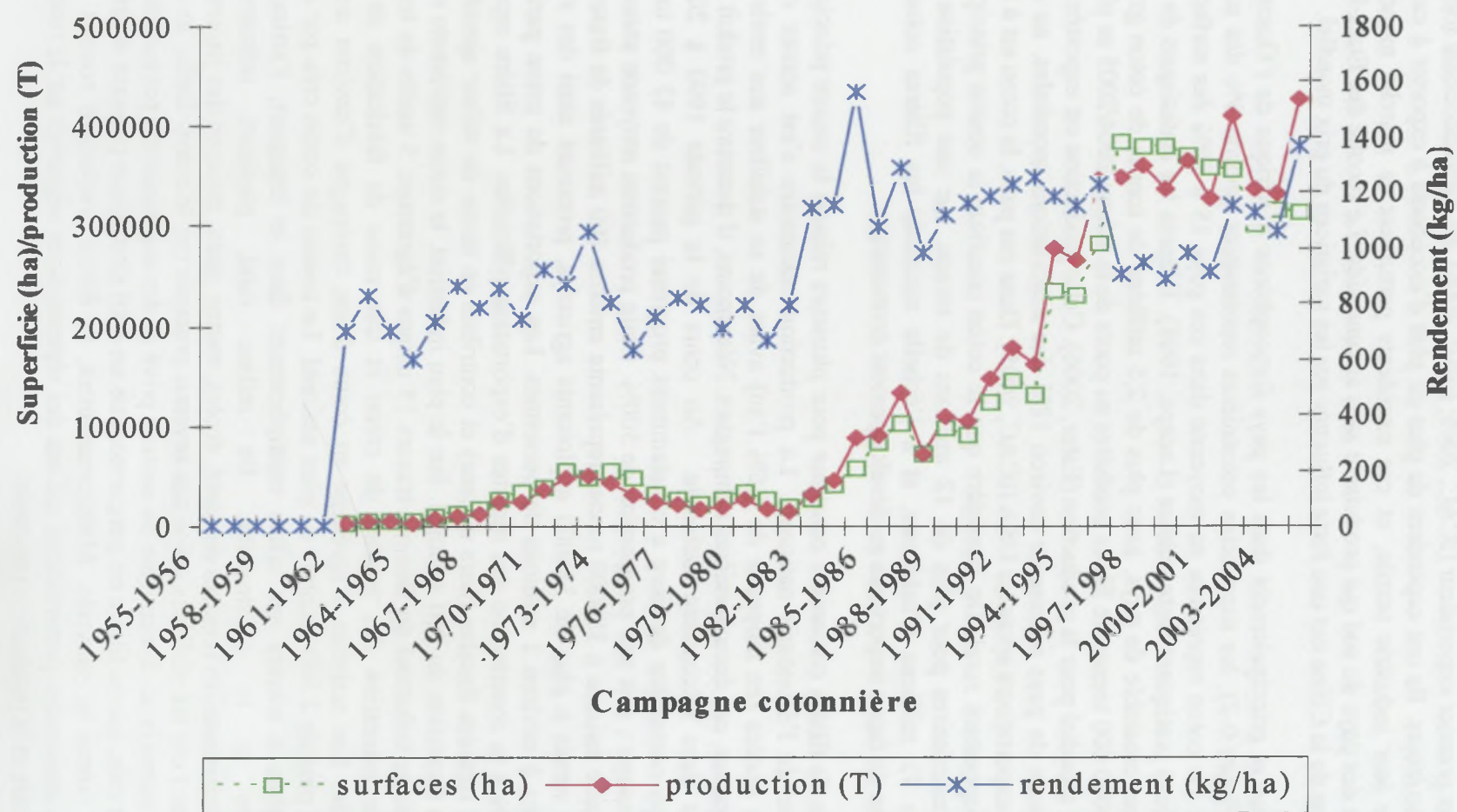


Figure 0-3 : Evolution de la production cotonnière au Bénin depuis son introduction



- réformes des structures de vulgarisation exigées par la banque mondiale dans le cadre des programmes d'ajustement structurel et qui a entraîné une diminution drastique de l'effectif des services d'encadrement
- la privatisation de la filière avec des transferts de compétence à des organisations de producteur mal préparées à assurer de nouvelles responsabilités (Zoundi *et al.*, 2006)
- les difficultés de trésorerie liées à la baisse des cours mondiaux engendrée par la surproduction des pays du nord qui bénéficient de subventions importantes de la part de leur gouvernement (Nubukpo and Keita, 2006)
- la diminution des disponibilités de main d'œuvre (Floquet *et al.*, 2002)
- la résistance avérée de la chenille *Helicoverpa armigera*, principal ravageur du coton au Bénin, aux insecticides pyrethrynoïdes (Ferron *et al.*, 2006)

Toutes ces difficultés ont engendré depuis quelques années une diminution du rendement entre 1996 et 2001 et une stagnation de la production annuelle nationale autour de 350 000 tonnes (Figure 0-3). La capacité d'égrenage actuelle de l'ordre de 600000 tonnes par campagne n'est satisfaite qu'à 2/3 environ. Face à ces difficultés, les structures en charge de la gestion de la filière se mobilisent chacune en ce qui la concerne pour résorber ces goulots d'étranglement. La recherche est aujourd'hui sollicitée pour contribuer à résoudre des problèmes de la filière et trouver des solutions pour améliorer la productivité.

---

# 1- INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

---

## 1.1- CONNAISSANCE DU COTONNIER

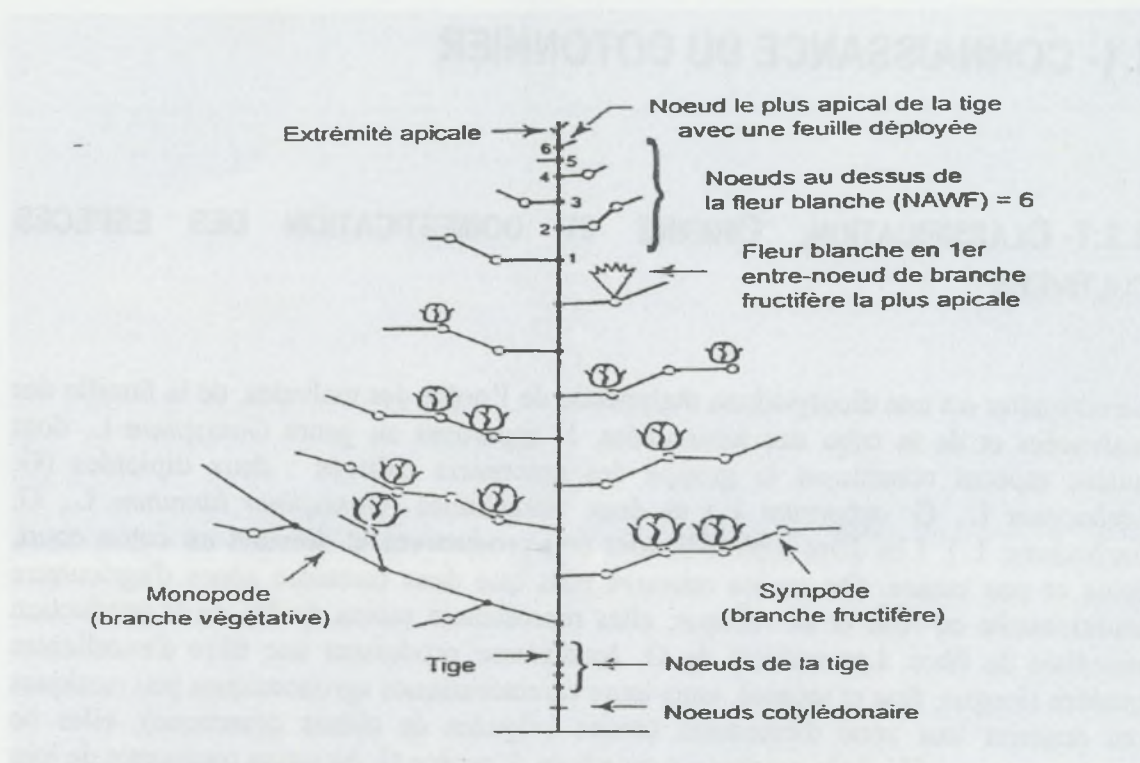
### 1.1.1- CLASSIFICATION, ORIGINE ET DOMESTICATION DES ESPECES CULTIVEES

Le cotonnier est une dicotylédone dialypétale de l'ordre des malvales, de la famille des malvacées et de la tribu des hibiscucées. Il appartient au genre *Gossypium* L. dont quatre espèces constituent le groupe des cotonniers cultivés : deux diploïdes (*G. herbaceum* L., *G. arboreum* L.) et deux tétraploïdes (*Gossypium hirsutum* L., *G. barbadense* L.). Les deux diploïdes sont peu productives et donnent un coton court, épais et peu tenace. On ne les retrouve plus que dans certaines zones d'agriculture traditionnelle en Asie et en Afrique; elles représentent moins de 5% de la production mondiale de fibre. Les variétés de *G. barbadense* produisent une fibre d'excellentes qualités (longue, fine et tenace), mais leurs caractéristiques agronomiques peu rustiques ont restreint leur zone d'extension (zones irriguées de climat désertique); elles ne représentent que 5% de la production mondiale. L'espèce *G. hirsutum* représente de loin l'espèce la plus importante des cotonniers cultivés, fournissant près de 90% de la production mondiale actuelle; elle est plus productive, capable de s'adapter à un grand nombre de situations; elle produit des fibres de bonne qualité (longueur, finesse et ténacité intermédiaires entre celle de *G. barbadense* et celle des diploïdes).

La classification actuelle du genre regroupe la cinquantaine d'espèces du genre en 8 classes génomiques sur les bases de leur affinité chromosomique et de leur répartition géographique (A, B,C,D,E,F,G,K). Les types sauvages des groupes génomiques A, B, E et F sont africains, le groupe E étant également présent sur le continent asiatique (Arabie). Le groupe génomique D est uniquement américain. Les groupes C, G et K uniquement australiens (Stewart, 1994). Ces groupes descendent très certainement d'un même phylum ancestral aujourd'hui disparu. La spéciation intra génomique se serait produite au début du tertiaire par l'adaptation à un habitat plus aride, puis vers la fin du pléistocène lors du changement climatique. La spéciation des espèces tétraploïdes se serait faite en deux étapes, la première ayant abouti à la diversification des espèces de génome D, la seconde ayant permis l'introduction en Amérique, d'une espèce de génome A, suivie par une hybridation interspécifique entre espèces des deux génomes puis d'un doublement spontané du nombre de chromosomes. Le génome A des amphidiploïdes de génome AD proviendrait d'un type proche de *G. herbaceum*, le cytoplasme étant fourni par le progéniteur de génome A (Wendel and Albert, 1992)

L'utilisation textile de la fibre de coton est très ancienne. Elle est attestée avant notre ère, vers 6000 ans avant J-C d'après de récentes découvertes. Plusieurs fibres textiles,





**Figure 1-1 : Structure d'une plante de cotonnier montrant les nœuds de la tige principale, une branche végétative, les branches fructifères, les capsules, une fleur blanche**

Sur cette plante le nombre de nœuds au-dessus de la fleur blanche, NAWF (Node Above White Flower), est égal à 6. (OOSTERHUIS et al., 1992)



Cotonnier à feuilles okra (cliché : E. Sêkloka)



Cotonnier à feuilles normales (Cliché : E. Sêkloka)

**Figure 1-2 : Formes de feuille couramment rencontrées chez le cotonnier *Gossypium hirsutum* L.**

conservées par minéralisation, seraient identifiées à partir de l'analyse métallurgique d'une perle de cuivre provenant d'une tombe néolithique de Mehrgarh au Pakistan (Moulherat *et al.*, 2002). Comme les découvertes précédentes, les auteurs n'ont pu attribuer les fibres retrouvées à une espèce déjà domestiquée. L'espèce *G. herbaceum* race *africanum* serait le représentant moderne de l'ancêtre sauvage à l'origine des cotonniers diploïdes cultivés. Le sud de l'Arabie aurait été son centre de domestication. L'extension de *G. herbaceum* vers l'Inde aurait permis l'apparition des premières formes de *G. arboreum* (Percival and Kohel, 1990).

L'utilisation textile des cotonniers tétraploïdes est aussi ancienne : *G. hirsutum* au Mexique (3500 ans avant J-C), *G. barbadense* au Pérou (2500 ans avant J-C). L'espèce *G. hirsutum* aurait comme centre de diversification, la presqu'île de Yucatan au Guatemala. La race pérenne *yucatanense*, considérée comme la forme la plus primitive de l'espèce, est dispersée dans cette zone et dans tout l'Arc antillais à proximité du littoral. Les races *punctatum* et "*Marie Galante*", cotonniers pérennes photopériodiques ont été dispersées par les navigateurs portugais du XVII<sup>ème</sup> siècle et introduites en Afrique et en Asie. La race *latifolium*, présente au Mexique et au Guatemala, est à l'origine des types insensibles à la photopériode ayant donné les cultivars modernes (type "Upland"). Le centre d'origine de l'espèce *G. barbadense* quant à lui, se situe en Equateur et au Pérou, où se serait produite sa domestication. Un type primitif, aux qualités de fibre médiocre, y fait encore l'objet de culture de case (Type « Aspero »). L'espèce a traversé les Andes à l'occasion de migrations humaines et est arrivée dans les Antilles où elle a été introgressée par *G. hirsutum*. C'est là qu'elle a acquis ses qualités de fibre particulières (type Sea Island des Iles Barbades, îles qui ont donné leur nom à l'espèce).

### 1.1.2- LES DIFFERENTES PARTIES DU PLANT DE COTONNIER

Le plant de cotonnier développe une racine principale pivotante pourvue de nombreuses ramifications secondaires. La tige principale chez le cotonnier est érigée, de croissance terminale et continue (c'est un monopode) ; elle sert de support pour le reste de la plante. De la tige partent des rameaux de deux natures : les branches fructifères (BF) et les branches végétatives (BV) (Figure 1-1).

Les branches végétatives se développent à partir des nœuds de base du plant situés au-dessus du nœud cotylédonaire ; en nombre variable suivant les conditions d'environnement et les cultivars, elles sont parfois absentes ; elles se comportent comme l'axe principal avec des ramifications secondaires qui peuvent développer des fruits. Leur développement est initié avant l'apparition des branches fructifères en général, mais elles peuvent encore réapparaître en cas de désordre de croissance (disparition du méristème de la tige principale du fait de piqûre d'insectes) ou en cas de reprise de croissance après la fin d'un cycle (émergence d'une branche végétative à l'aisselle d'une branche fructifère).

Les branches fructifères se développent à partir de tous les nœuds du tronc principal situés au-dessus des branches végétatives ; chez la plupart des variétés de *G. hirsutum* elles apparaissent vers les 5<sup>ème</sup> à 8<sup>ème</sup> nœud à partir des cotylédons (Hearn and Constable, 1984), sur la tige principale, ou dès le premier nœud sur les branches





Bouton floral (cliché : M. Cretenet)



Fleur épanouie (cliché : M. Cretenet)



Capsules mûres (cliché : M. Cretenet)



Capsule ouverte (cliché : M. Cretenet)

**Figure 1-3 : Différents stades de l'organe reproducteur chez le cotonnier *Gossypium hirsutum* L.**

**Tableau 1-1 : Quelques taux d'allogamie mesurés en station d'expérimentation en Afrique**

Pays	Années	Dispositif	Taux d'allogamie
Cameroun	11	lignes isolées, plants alternés	6 à 12%
Côte d'Ivoire	2	plants ou lignes isolées	2 à 13%
Mali	1	plants isolés	9%
Tchad	1	lignes isolées, plants alternés	5 à 10%
Zambie	3	plants isolés	15 à 30%
Bénin	1	Parcelle glandless au sein d'un champ classique	6 à 10%

*d'après Lançon (1994), Lançon et al. (2000)*

**Tableau 1-2 : Effet de la protection phytosanitaire (pyréthriné), de la distance à la source de pollen (Cameroun, 1987) ou de la densité (Côte d'Ivoire, 1989) sur le taux d'allogamie**

Traitement	Dispositif	Taux d'allogamie
Protection hebdomadaire	parcelles de 20 lignes	1,6 à 6,3%
Protection quotidienne	"	0,4 à 5,0%
Allopollen à 1 m	"	5,60%
Allopollen à 5 m	"	1,60%
Allopollen à 8 m	"	1,00%
10000 plants/ha	plants ou lignes isolées	10 à 13%
50000 plants/ha	"	2 à 6%

*d'après Lançon (1994)*

végétatives. Elles sont formées de segments successifs en raison de leur croissance discontinue (fonctionnement sympodial). Chaque segment de branche correspond à une période de croissance. Un bouton floral et une feuille se développent à l'extrémité du segment. L'allongement du segment suivant se réalise à partir d'un bourgeon situé en position latérale, qui détermine l'aspect en « zigzags » de la branche fructifère (Parry, 1982). Le nombre et la longueur des branches fructifères peuvent être variables suivant les conditions d'environnement ou le génotype de la variété utilisée.

Les feuilles du cotonnier apparaissent à l'aisselle de chaque branche nouvelle et de chaque site fructifère mis en place. En dehors des feuilles les plus basses (feuilles cotylédonaire et premières vraies feuilles à limbe entier), les feuilles du cotonnier sont palmées avec cinq lobes plus ou moins échancrés. La forme, la taille, la couleur, l'épaisseur sont des caractéristiques variétales. Des formes particulières de feuilles aux limbes très découpés se retrouvent dans certaines variétés et sont appelées Okra ou Super Okra (Figure 1-2). Ces deux caractères sont monogéniques et dépendent de deux allèles d'un même locus.

Les fleurs naissent d'un bourgeon différencié dès son origine, protégé par trois bractées qui le recouvrent entièrement. A sa naissance, de la grosseur d'une tête d'épingle, il est à peine visible sur la plante ; on lui donne en français le nom de " bouton floral " mais on utilise également couramment le terme anglais de " square ".

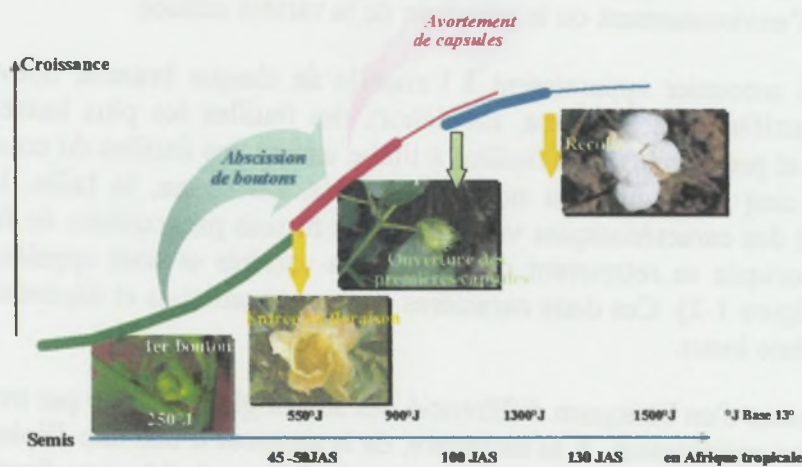
Le fruit du cotonnier est une capsule de forme ronde ou oblongue, qui mesure à maturité de 4 à 6 cm de long sur 3 à 4 cm de diamètre en son renflement maximum (Figure 1-3). Elle comprend un péricarpe qui constitue la paroi de l'ovaire. A l'intérieur de celui-ci se développe une trentaine de graines sur le tégument desquelles se trouvent les fibres. Différentes caractéristiques morphologiques des organes reproducteurs (forme, taille, présence ou non de mucron, nombre de loges carpellaires, type d'ouverture de la capsule, etc...) peuvent servir à décrire les variétés.

### 1.1.3- LE REGIME DE REPRODUCTION

Le régime de reproduction prédominant est l'autogamie, mais celle-ci n'est ni totale, ni obligatoire et le taux de fécondation croisée peut varier suivant les zones de culture (Tableau 1-1).

L'importance du taux d'allogamie chez le cotonnier dépend de l'intervention des principaux pollinisateurs, des hyménoptères parmi lesquels les abeilles (*Apis sp.*) et les bourdons (*Bombus sp.*) sont les plus actifs en Afrique. Tous les facteurs pouvant intervenir sur leur nombre, leur répartition ou leur efficacité modifient le taux d'allogamie (Lançon, 1994; Lançon *et al.*, 2000d): climat, géographie, calage des cycles, protection phytosanitaire, distance entre plantes et itinéraire technique (Tableau 1-2).





**Figure 1-4 : Le cycle de production du cotonnier (Cretenet, 2006)**

...nécessite un peu plus de 4 mois de saison pluvieuse et/ou une somme de températures correspondant à 1500°J en base 13°C

### 1.1.4- LE MODE DE CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE LA PLANTE

Le cotonnier est une plante à croissance continue, ce qui signifie que les phases végétatives et fructifères ne sont pas séparées dans le temps, comme par exemple, chez les céréales. Son mode de croissance est ainsi comparable à celui du pois, *Pisum sativum* ou à celui du haricot, *Phaseolus vulgaris*. La croissance végétative se poursuit pendant que les premiers boutons floraux apparaissent. La mise en place des fruits sur la plante, provoque un ralentissement progressif de la vigueur végétative. Au fur et à mesure de leur maturation, les fruits mobilisent de plus en plus les assimilats issus de la photosynthèse, au détriment du développement végétatif. Celui-ci finit par s'arrêter lorsque la production du plant est en place et mobilise tous les carbohydrates synthétisés au niveau des feuilles. La connaissance précise de la durée et de l'importance de la phase pendant laquelle la production s'installe a toujours été une préoccupation majeure pour le pilotage de la culture et en culture pluviale, pour caler le cycle de la plante en fonction de la période des pluies.

La croissance du cotonnier peut être scindée en quatre stades (Hesketh *et al.*, 1972; Parry, 1982; Mauney, 1984):

- stade de la Levée : du semis à l'étalement des cotylédons ; il dure habituellement 6 à 10 jours dans les conditions tropicales
- stade Végétatif : de la plantule à l'ouverture de la première fleur. La fin de ce stade se situe de 40 à 60 jours après levée
- stade Floraison : du début floraison à l'arrêt de la croissance (appelé "Cutout"), atteint: 80 à 100 jours après la levée
- stade Maturation : du "Cutout" à l'ouverture complète des capsules.

Du semis à la récolte, le cycle dure environ 140 à 180 jours selon les variétés et les conditions environnementales (Figure 1-4).

On peut distinguer chez le cotonnier deux types variétaux :

- les variétés à cycle déterminé, dont la croissance s'arrête nettement en fin de cycle ; ces variétés ont peu de branches végétatives, sont de taille courte avec de courtes branches fructifères et sont précoces (cycle court).
- les variétés à cycle indéterminé, cas de la plupart des variétés africaines, dont l'arrêt de la croissance végétative est moins net en fin de cycle ; ce sont des cotonniers souvent de grande taille avec de grandes branches végétatives, de longues branches fructifères et qui produisent beaucoup de fleurs ; ces variétés sont plus tardives (cycle moyen à long).

Ces termes couramment utilisés par les sélectionneurs sont en fait peu précis car, dans les deux cas, la plante est capable de redémarrer la croissance végétative en fin de saison, si les conditions hydriques et de température le permettent.



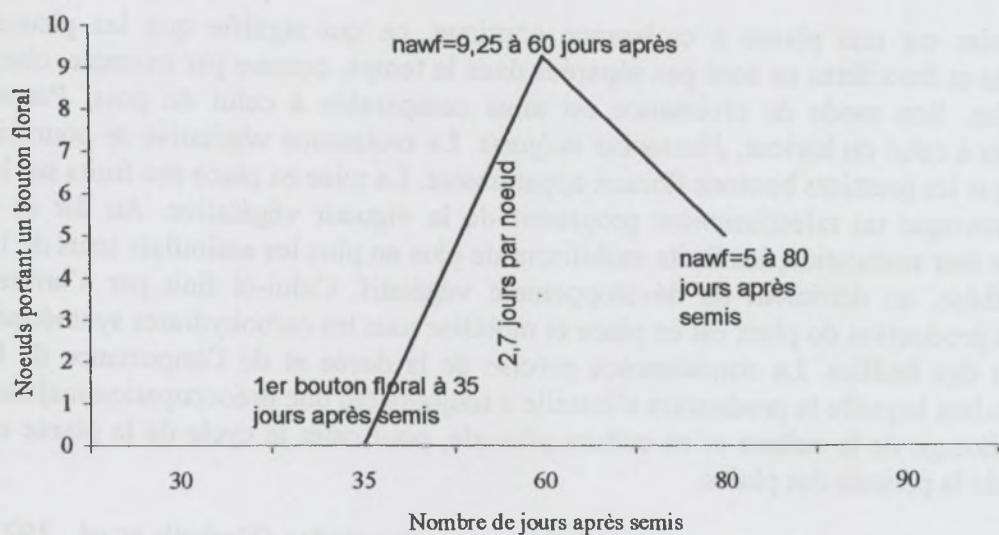


Figure 1-5 : Courbe de référence pour la croissance du cotonnier (Oosterhuis et al., 1994; 1996)

Pour caractériser le cycle de développement de la plante, la précocité de production est l'un des critères le plus largement utilisé. Elle est mesurée par le rapport du poids de la première récolte, effectuée lorsque 50 % des capsules du témoin sont ouvertes, sur celui de la récolte totale (Richmond and Ray, 1966). Plus le rapport est élevé, plus la variété est précoce. Un tel indicateur est très facile à mettre en oeuvre mais il est peu précis. Il ne permet pas de rapprocher les résultats de différents essais si les premières récoltes ne sont pas réalisées au même moment. Les différences entre variétés sont masquées quand la première récolte intervient avec un peu de retard (Bourland *et al.*, 1991; Bourland *et al.*, 2001).

Waddle (1982), Guinn (1979), et plus tard Oosterhuis *et al.*, (1992) et Bourland *et al.*, (1992) ont proposé d'utiliser un autre indicateur, le NAWF (Nodes above last flower in first position of fruiting branches), pour caractériser le cycle. Le NAWF désigne le nombre de nœuds au dessus de la dernière fleur blanche en première position de branche fructifère. Son suivi en cours de croissance permet de suivre la balance entre développement végétatif et fructifère. En même temps que la floraison se rapproche du sommet de la plante, la charge en fruits augmente et le développement végétatif ralentit. Ainsi, le NAWF décroît progressivement jusqu'à ce que la plante fleurisse à l'apex, marquant ainsi la fin de la floraison et de la production de nœuds (Cutout physiologique). Le suivi de l'évolution de ce paramètre est à la base de la technique dite de « Plant mapping ».

Ainsi, (Oosterhuis *et al.*, 1994; 1996) proposent d'établir pour chaque variété, une courbe de référence (« target curve » ou courbe de « type I ») en conditions de culture optimale. Cette courbe, exprimée en nombre de jours après semis en abscisse (ou en degrés-jour), porte en ordonnée le nombre de nœuds où apparaît un bouton floral en première position sur la branche fructifère, jusqu'à la floraison, puis à partir de la date de la première fleur, le NAWF (Figure 1-5).

Toutes les courbes de croissance qui présentent des écarts par rapport à cette courbe de référence sont qualifiées de « type II » : elles indiquent que les cotonniers ont traversé des situations de stress. Travaillant en conditions irriguées et avec des régulateurs de croissance, Bourland *et al.*, (1992), et Oosterhuis *et al.*, (1994) ont établi pour plusieurs variétés que 95% de la production est installée sur le plant lorsque le NAWF atteint 5.

Des règles de décisions pour la conduite de la culture, ont été établies à partir de ce suivi du NAWF. Bagwell and Tugwell (1992) ont suggéré l'arrêt des traitements insecticides à 350 degrés- jour (« Heat unit ») après cutout (NAWF=5). Des travaux similaires ont permis de recommander la date correspondant à NAWF=5 plus 850 degrés- jour « Heat unit » comme date optimum pour l'application des défoliants (Bourland *et al.*, 1994). La date du NAWF=5 a également été utilisée pour caractériser la maturation de génotypes de cotonnier (Bourland *et al.*, 1991; Bourland *et al.*, 1994; Benson and Vories, 1995). En fait, cette valeur NAWF=5 qui s'applique aux USA à toutes les variétés, a surtout une valeur opérationnelle dans des systèmes de culture irrigués, mécanisés, utilisant des régulateurs de croissance, où toutes les variétés peuvent être conduites jusqu'au bout de leur cycle. En toute rigueur la date de cutout mériterait d'être précisée pour chaque variété et chaque système de culture.





### 1.1.5- CHRONOLOGIE D'APPARITION ET POSITION DES SITES FRUCTIFERES

La connaissance du mode de positionnement des sites fructifères et de la chronologie d'initiation des organes floraux est d'une grande utilité dans l'étude de mise en place de la production.

En effet, chaque nœud sur la branche fructifère (BF) développe un site fructifère, appelé position (P). Sur la tige principale, le premier bouton floral (ou square) apparaît à l'aisselle de la première feuille de la première branche fructifère (site de rang P1). De nouveaux boutons floraux " P1 " apparaîtront successivement sur les branches fructifères initiées au cours de la progression des nœuds de la tige principale (progression verticale pour un site de rang donné). Simultanément, les boutons floraux progressent horizontalement le long de chaque BF en croissance (progression horizontale pour une branche fructifère donnée : Sites de rang P1, P2, P3, P4...).

En l'absence d'abscission, le développement d'un bouton floral passera par trois stades caractéristiques : l'apparition du bouton, la floraison (anthèse) et l'ouverture de la capsule (maturité). Les rythmes d'apparition et de développement des sites fructifères (progression verticale et progression horizontale) appelé plastochrone sont décrits par plusieurs auteurs comme étant dans un rapport à peu près constant durant une grande partie de la fructification et déterminé génétiquement (Hesketh *et al.*, 1972; Hearn and Constable, 1984). Entre l'apparition de deux squares à la même position sur deux BF successives, on compte 44.4 DJ (degré jour) soit 3 jours environ tandis que l'intervalle entre deux fleurs successives sur la même branche est en moyenne de 130 DJ, soit 7 à 8 jours (Constable, 1991). Ainsi approximativement, une fleur en Position n d'une branche fructifère N apparaît en même temps qu'une autre fleur en Position n-1 sur la branche N+2 (Figure 1-6).

La fréquence d'initiation et la vitesse de développement des sites fructifères dépendent aussi de la température et de leur position sur la plante. En Thaïlande les boutons floraux de la variété SSR60 progressent au rythme de 39 DJ par nœud (soit environ 2.8 jours par nœud); après le début de la floraison (630 DJ après levée), il faut en moyenne 35 DJ (environ 2.5 jours) pour observer une nouvelle fleur au nœud supérieur (Crozat and Kasemsap, 1995). Le rythme d'apparition des boutons floraux peut ralentir graduellement au niveau des derniers nœuds fructifères précédents l'arrêt de la fructification (Crozat *et al.*, 1994).

L'apparition et le développement synchrone des sites fructifères sur un même plant autorisent à considérer que la présence de capsules sur les sites fructifères, notamment en position 1 (P1) apporte des informations extrapolables à l'ensemble de la plante ; a posteriori, elle permet de conclure sur les conditions de croissance d'une parcelle et le potentiel de production (Crozat and Kasemsap, 1997; Crozat *et al.*, 1997).



### 1.1.6- PRODUCTION DE SITES FRUCTIFERES ET REPARTITION DE LA PRODUCTION CAPSULAIRE

Au cours de son développement, les méristèmes axillaires des branches fructifères du cotonnier émettent des boutons floraux (appelés aussi « squares ») qui évoluent en fleurs, puis, après fécondation, en fruits (capsules). Tous les boutons floraux émis n'achèvent pas leur évolution. Communément, le cotonnier produit 2 à 3 fois plus de sites fructifères qu'il ne portera de capsules à la fin de son développement. Un site fructifère peut avorter avant la floraison (on parlera alors de chute de « squares »), ou après (chute de capsules). Les causes de ce phénomène peuvent être physiologiques (mauvaise fécondation de la fleur, compétition entre sites proches au niveau de la répartition des assimilats) ou causées par un stress biotique (attaques d'insectes), ou abiotique (stress hydrique, excès d'ombrage ou carences minérales du sol). Lorsqu'un site avorte, un autre site présent sur la plante et qui aurait pu avorter, peut être maintenu (Hearn and Room, 1979) ou bien de nouveaux sites peuvent être produits. Les assimilats produits de la photosynthèse qui ne peuvent être alloués à la maturation des capsules, sont dirigés vers la production de nouveaux sites fructifères. Par ce mécanisme, la plante peut parvenir à compenser ainsi la capsule qui a été perdue. Toutefois, la perte d'une capsule n'est pas entièrement compensée en développant plus de capsules sur la même branche fructifère (Constable, 1991). Par ailleurs, les chutes d'organes fructifères retardent le moment où la plante parvient à son cutout et elle rallongent le cycle du cotonnier (Ungar *et al.*, 1987). Ces chutes peuvent ainsi compromettre la réussite d'une culture pluviale, si les pluies s'arrêtent avant que toute la charge de capsules que la plante peut porter ait été installée. La recherche de variétés ou de conditions de culture favorisant une bonne rétention des capsules sur le plant est de ce fait un des objectifs les plus importants en recherche cotonnière.

Au final, la production n'est pas également répartie sur toute la hauteur d'une plante. Jenkins *et al.* (1990a) ou Burch and Krieg (2002) ont trouvé que 66 à 75 % du rendement en coton graine sont portés par les premières positions de branche fructifère (P1), 20 à 25 % par les secondes positions (P2) et moins de 5% par les autres positions. Ils ont également montré que les branches fructifères situées entre les nœuds 8 et 14 de la tige principale produisent l'essentiel du rendement. Les variétés modernes installent leur production plus bas sur le plant (nœuds 6 à 8) que la variété plus ancienne et plus tardive Stoneville 213. Pour Constable (1991), les branches fructifères situées aux nœuds 7 à 13 possèdent le meilleur taux de rétention et produisent les plus grosses capsules du plant.

Les descriptions de répartition de production sur le plant contribuent à l'étude de relations entre des caractères architecturaux et le rendement dans le but de définir des idéotypes qui pourraient servir de référence aux programmes de sélection (Dickmann, 1985).

Parmi les plantes annuelles, les légumineuses présentent, comme le cotonnier, un développement simultané des phases végétatives et fructifères. Les facteurs morphologiques favorables à l'expression du rendement y ont été également abordés. Chez le pois (*Pisum sativum*) par exemple, Doré *et al.* (1998) ont montré qu'à partir de 115 rameaux reproducteurs par m<sup>2</sup>, la diminution du nombre de rameaux ne pouvait plus être compensée par l'accroissement du nombre de grains par rameau. Les variétés

doivent donc être capables de développer suffisamment de rameaux reproducteurs pour réaliser un potentiel de rendement permis par la densité de culture.

A l'état naturel, le cotonnier est une espèce pérenne arbustive. Or les plantes pérennes ont aussi une croissance continue et contrôlée par l'équilibre entre les organes fructifères et végétatifs. Chez le caféier, le rendement est constitué par le cumul des productions annuelles, étendu à toute la vie de la plante, c'est-à-dire 30 à 40 ans. En pratique, les sélectionneurs recherchent des caractères prédictifs de ce rendement et qui puissent être mesurés durant les premiers cycles de production. Des travaux récents (Cilas *et al.*, 2005) ont ainsi mis en évidence l'intérêt de plusieurs caractères architecturaux comme la proportion de nœuds fructifères au niveau plagiotropique 15. Cette thématique de recherche est aussi cruciale chez l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) pour prédire certaines composantes du rendement, notamment les ruptures de branches due aux vents violents pendant les orages. Les caractères d'architecture sont alors étudiés pour prédire le rendement et aussi pour comprendre le rôle de la structure de ces branches dans la résistance ou la susceptibilité des clones aux dommages causés par ces vents violents. Cilas *et al* (2004) ont montré que les clones résistants à la rupture se différencient des sensibles parce qu'ils produisent des branches latérales nombreuses mais peu développées en longueur.

Chez le cotonnier, l'architecture et la répartition de la production sur le plant peuvent être décrits en utilisant la méthode dite de « plant mapping » (Bourland *et al.*, 1992; Oosterhuis *et al.*, 1994). Cette méthode a été peu utilisée pour raisonner les critères d'adaptation à l'environnement ou aux itinéraires techniques, dans le but d'aboutir à des recommandations pour les sélectionneurs. Dans notre étude nous avons essayé d'évaluer les facteurs morphophénologiques favorables à l'expression du meilleur potentiel productif possible en culture pluviale au Bénin, en fonction de la date de semis et la densité.



**Tableau 1-3 : Caractères morphologiques**

Descripteur	Unité	Définition	poids
NN		nombre de nœuds	-
HT	cm	hauteur d'un plant	+
HNR	cm	hauteur d'entre-noeud	-
LBV	cm	longueur de branche végétative	-
LBF	cm	longueur de branche fructifère	-
HPBF	cm	hauteur d'insertion de la première branche fructifère	-
NPBF		nœud d'insertion de la première branche fructifère	-
NBF		nombre de branches fructifères	-
NBV		nombre de branches végétatives	-
CBF		nombre de capsules récoltées sur les branches fructifères	+
CBV		nombre de capsules récoltées sur les branches végétatives	±
Pilo		pilosité	+

*D'après Lançon, 1996*

**Tableau 1-4 : Caractères agronomiques**

Descripteur	Unités	Définition	poids
Rdt	kg/ha	rendement	+
PMC	g/100	poids moyen capsulaire	±
RE	%	rendement à l'égrenage	+
IR	%	indice de récolte	±
SI	g/100	poids de 100 graines	+
Lint	%	taux de linter	+
PFM	jours	date d'apparition de la première fleur	+
OPCM	jours	date d'ouverture de la première capsule	+
R1/RT	%	poids de la première récolte dans la récolte totale	+

*D'après Lançon, 1996*

**Tableau 1-5 : Caractéristiques technologiques**

Descripteur	Unités	Définition	poids
<b>Fibre</b>			
ML et UHML	mm	longueur	+
UI	%	uniformité	+
STP8	g/tex	ténacité	+
Elo	%	élongation	+
IM		indice micronaire	+
PM	%	pourcentage de fibres mûres	+
HS	mtex	finesse standard	+
Rd	%	brillance	+
+b		indice de jaune	+
<b>Fil</b>			
Ténacité	cN/tex		±
AI	%	allongement (élasticité)	±
Fins		nombre de points fins sur 1000m de fil	+
Gros		nombre de points gros sur 1000m de fil	+
Neps totaux		nombre de neps pour 1000m de fil	+
SCF		nombre de débris de coques pour 1000m de fil	+
Unif.		régularité du fil (tous défauts)	+

*D'après Lançon, 1996*

## 1.2- AMELIORATION GENETIQUE DU COTONNIER

### 1.2.1- GENERALITES SUR LA SELECTION DU COTONNIER

L'histoire de la sélection du cotonnier *G. hirsutum* démarre avec l'introduction des premières graines issues du Mexique vers les Etats-Unis au XVIIème siècle, jusqu'à la dispersion aujourd'hui mondiale de cette espèce (Hau, 1996). Le pool génétique des espèces du genre *Gossypium* constitue un réservoir de variabilité encore peu exploité. Les travaux de sélection se sont presque exclusivement intéressés aux croisements entre variétés, et préférentiellement de même espèce. Le recours à des germplasmes éloignés déséquilibre très vite la balance génique et ne permet pas des retours aisés vers des formes commerciales vulgarisables (Hau, 2000). De plus la photopériodicité des types sauvages est difficile à éliminer par sélection phénotypique. La sélection assistée par marqueur (SAM) offre aujourd'hui un nouvel outil pour tirer partie de ces ressources génétiques puisque récemment, des marqueurs associés aux gènes responsables de la photopériodicité ont été décrits (Creech *et al.*, 1997).

Les travaux de sélection s'attachent à satisfaire simultanément un grand nombre d'attentes. Il s'agit en effet de satisfaire les producteurs de coton par des variétés fournissant des rendements élevés à la récolte (le rendement en coton graine) et en usine (le rendement en fibre à l'égrenage), dont la fibre et les graines correspondent en outre aux attentes et aux besoins des industries de transformation. Les caractères sélectionnés pour satisfaire à ces objectifs peuvent être regroupés en trois catégories: les caractères morphologiques, agronomiques et technologiques.

Les caractères morphologiques sont nombreux (Tableau 1-3) mais, sauf cas particulier, leur utilisation en sélection reste marginale, du fait du coût nécessaire pour les évaluer, et assez peu efficace, faute souvent d'avoir bien défini les critères d'adaptation auxquels ils correspondent.

Les caractères agronomiques sont aussi variés. Outre la production de coton-graine elle-même, on s'attache à sélectionner les caractères qui contribuent à l'obtention de meilleurs rendements : résistance aux insectes et aux maladies, résistance à la verse, la précocité de production pour caler le cycle de la plante par rapport à la durée de la saison des pluies (en culture pluviale). L'absence de critères simples et la nécessité de tenir compte des effets de compétition entre plantes à la densité normale de culture font que l'évaluation paramétrique de la productivité n'a lieu qu'en fin de sélection. La sélection de souches au champ s'en remet souvent au jugement intuitif du sélectionneur qui choisit les plants sur leur aspect général (Tableau 1-4).

Les caractères technologiques enfin sont également nombreux (Tableau 1-5). Le pourcentage de fibre ou rendement à l'égrenage constitue une composante importante de la productivité ; il représente la part de fibre dans la récolte du coton graine. Son amélioration est demandée par les sociétés d'égrenage qui y trouvent un facteur important de diminution du coût de la fibre. Les qualités de la fibre sont mesurées de



plus en plus sur des appareils à haut débit de type CMI (Chaîne de Mesure Instrumentale). Les caractéristiques du fil ne sont qu'imparfaitement prédictibles à partir de l'observation de la fibre. La filature constitue donc une étape d'évaluation indispensable : elle permet par exemple de révéler des défauts de maturité ou une faiblesse de la chalaze de la graine qui peut conférer un mauvais aspect au fil (seed coat fragment).

L'absence de gossypol (caractère glandless) et la richesse en huile dans l'amande sont les seuls caractères de la graine réellement valorisés. A un niveau de transformation équivalent, le produit escompté (la graine, l'huile et le tourteau) est faible par rapport au principal produit, la fibre, le fil ou le tissu. Cependant, on prête au caractère glandless un rôle social dépassant son poids économique, par sa contribution à l'équilibre alimentaire des pays producteurs du coton.

L'héritabilité des caractères dépend du matériel génétique étudié et du dispositif expérimental. Mais le recoupement d'expériences nombreuses réalisé par Lançon (1995) a permis de regrouper plusieurs caractères en fonction des niveaux d'héritabilité, au niveau parcelle, les plus fréquemment rapportés :

- Forte (supérieure à 0,50) pour le nombre de branches végétatives, la finesse, le pourcentage de fibre et le taux de linter sur la graine.
- Moyenne (0,25 à 0,50) pour la taille, la précocité de floraison, la production portée par les branches végétatives, la taille de la graine et pour de nombreux caractères technologiques comme la longueur de la fibre, l'uniformité, la maturité, l'allongement, la ténacité etc.
- Faible (0,10 à 0,25) pour le rendement et le poids moyen capsulaire, pour la couleur de la fibre, la charge et l'uniformité du fil, la richesse en huile de la graine.
- Très faible (inférieure à 0,10) pour la productivité du plant, le nombre de capsules.

Ce classement permet de confirmer que comme chez la plupart des plantes autogames les caractères portant sur la qualité sont plus hératables que ceux portant sur la morphologie de la plante, eux-mêmes étant plus hératables que les caractères directement liés à la productivité.

## 1.2.2- LES PRINCIPALES METHODES DE SELECTION

Le cotonnier étant une espèce autogame, la structure variétale la plus cultivée est la lignée pure. Cependant, pour des raisons pratiques, mais parfois aussi pour ménager une certaine espérance de progrès génétique, d'autres formules ont été proposées comme les mélanges de lignées sœurs au Cameroun, des mélanges de lignées consanguines en Côte d'Ivoire (Goebel *et al.*, 1979). Avec la découverte d'une stérilité mâle cytoplasmique, les hybrides de cotonnier ont également suscité de grandes espérances dans les années 70. Pourtant, ils ne se sont développés qu'en Inde, en Chine et au Vietnam, pays à main d'œuvre minutieuse et très bon marché, à partir de fécondation manuelle. En Afrique, ils ne sont jamais sortis du cadre des stations de recherche où ils ont été étudiés. Le

**Tableau 1-6 : Chronologie du schéma d'amélioration variétale au Bénin**

Année	Création et sélection variétales	Evaluation	Multiplication et diffusion
0	Croisement Génération F1 (intercampagne)		
1	Génération F 2		
2	Génération F3		
3	Génération F 4		
4	Génération F 5		
5		Essai en station (micro essai)	Multiplication autofécondée
6		Essais variétal multilocal sur CPE (1 <sup>ère</sup> année)	Multiplication en parcelle isolée
7		Essais variétal multilocal sur CPE (2 <sup>ème</sup> année)	Multiplication en parcelle isolée
8		Essais variétal multilocal sur CPE (2 <sup>ème</sup> année) Essai variétal multilocal paysan (1 <sup>ère</sup> année)	Multiplication en parcelle isolée Multiplication en parcelle isolée
9		Essais variétal multilocal sur CPE (3 <sup>ème</sup> année) Essai variétal multilocal paysan (2 <sup>ème</sup> année)	Multiplication en parcelle isolée Multiplication en zone G1
10		Essai variétal multilocal paysan (3 <sup>ème</sup> année)	Multiplication en zone G2
11			Multiplication en zone G3
12			Diffusion en zone R1
13			Diffusion en zone R2
14			Diffusion en zone R3

CPE: Centre Permanent d'Expérimentation

L'appellation respective des phases de multiplication et de diffusion des semences est fixée, sur le plan international, par les dénominations G1 à G3 et R1 à R3. Les trois phases de multiplication sont encore parfois dénommées *nucleus*, *breeder seeds* et *fondation seeds* dans les pays anglo-saxons



potentiel de progrès génétique qu'ils représentent est en effet occulté par les difficultés liées à la production de semences hybrides (Lançon *et al.*, 1993).

La méthode classique d'amélioration du cotonnier est la sélection généalogique en vue d'obtenir des lignées pures et stabilisées. La sélection s'exerce pendant tout ou partie de la phase de fixation. Elle s'appuie sur la généalogie des souches sélectionnées pour estimer plus précisément la valeur génétique de l'individu grâce aux informations fournies par l'observation de ses collatéraux et ascendants. Au gré des contraintes rencontrées, et des objectifs poursuivis par chaque utilisateur, les variantes sont nombreuses : fécondation libre ou autofécondation, densité de pépinière ou densité de culture, dispositif « évaluation famille » et « choix de souches » confondu ou séparé. Dans certains cas, la sélection n'est pratiquée qu'après une phase de fixation sans choix conduite selon la méthode de « bulk » de la SBD (« single boll descent ») ou de la SSD (« single seed descent »). La SBD est une pratique spécifique au cotonnier qui a pour but de conserver une partie de la variabilité intra-plante F2 pendant la fixation. Avec toutes ses variantes, la sélection généalogique représente la méthode la plus utilisée (Lançon, 1994).

Les progrès de la biologie moléculaire ont permis ces dernières années de développer des méthodes biotechnologiques de création de variétés de cotonnier dont la plus célèbre est la transformation génétique. Deux grands groupes de variétés de cotonnier génétiquement modifiées sont actuellement cultivées en grandes surfaces, surtout aux USA, mais aussi en Chine et en Inde (Russell and Deguine, 2006) : les variétés résistantes aux insectes et les variétés résistantes aux herbicides. L'approche la plus prometteuse est celle par laquelle des caractères quantitatifs pourront être associés à certaines régions sur les chromosomes (QTL), et à des marqueurs moléculaires identifiés grâce à la cartographie du génome (RFLP, RAPD). La sélection assistée par marqueur permet également d'espérer de grand progrès. Elle a été utilisée récemment pour caractériser des QTLs de qualité de fibre chez le cotonnier (Lacape *et al.*, 2005). Mais ces technologies demeurent très onéreuses et restent encore inaccessibles aux pays producteurs de l'Afrique de l'ouest et du centre où la sélection classique demeure le seul moyen utilisé pour créer des variétés de cotonnier.

L'amélioration variétale cotonnière fonctionne selon un schéma souvent propre à chaque pays en fonction de la situation de sa filière coton, de ses moyens (humains techniques et financiers) de son passé et de ses partenariats. Dans plusieurs pays d'Afrique francophone, et en particulier au Bénin qui a servi de cadre aux présents travaux, ce schéma repose sur un dispositif allant des stations de recherche jusqu'au milieu réel en passant par un réseau d'expérimentation en milieu contrôlé (appelés CPE au Bénin, soit Centres permanents d'expérimentation) et en milieu réel. Il s'étend de la création à la multiplication d'une nouvelle variété, sur une période supérieure à 10 ans (Tableau 1-6).

### **1.2.3- AMELIORATION GENETIQUE DU RENDEMENT CHEZ LE COTONNIER**

L'augmentation de la productivité d'une culture passe par l'adaptation simultanée des techniques culturales et des génotypes aux contraintes du milieu. Chez le cotonnier, les génotypes, sélectionnés d'abord en station, ne sont confrontés à la variabilité des

conditions réelles de culture qu'à l'état de lignées stabilisées, dans des essais multilocaux et pluriannuels. Le but est alors d'estimer si le rendement de ces lignées est stable sous différentes situations environnementales.

Au Bénin, l'évaluation du rendement commence précocement en F3 (Lançon, 1998), mais l'estimation du potentiel des lignées est en partie biaisée par des effets de compétition entre parcelles (constituée d'une seule ligne) (Gozé *et al.*, 2001) et par des niveaux non négligeables d'hétérozygotie. L'évaluation efficace de rendements, débarrassés des effets de compétition entre lignées et des effets d'hétérozygotie commence réellement à partir des évaluations multilocales sur CPE, parce que portant déjà sur du matériel fixé et sur des parcelles élémentaires à 3 lignes de 20 m répétées 6 fois (l'évaluation du rendement s'effectuant sur les lignes centrales pour limiter les effets de compétition inter - lignée)

Cette organisation répandue en sélection cotonnière a partout porté ses fruits, et l'amélioration de la productivité des variétés à l'échelle de quelques décennies n'est pas contestée (Wells and Meredith, 1984; Meritan *et al.*, 1993). Cependant, on peut penser que cette démarche de sélection basée uniquement sur l'évaluation du rendement en conditions fluctuantes en fin du processus de sélection comporte des limites importantes (Blum, 1988) en raison:

- de la complexité du déterminisme génétique du rendement, et de sa faible héritabilité.
- du caractère empirique de la sélection, car on sait mal orienter les recombinaisons favorables au cours des premières générations qui suivent un croisement, faute de critères de sélection indicateurs de leur adaptation à l'environnement;
- de sa durée et de son coût du fait de la nécessité de tester un nombre important de matériel homozygote pour évaluer la capacité productive des lignées sélectionnées ;

L'amélioration génétique pour l'adaptation à des contraintes de milieu ou à des itinéraires techniques, pour être moins aléatoire et plus efficace, nécessite l'identification de variables simples, reliées au rendement et exploitables dans des tests de criblage. Le sélectionneur doit pouvoir prendre en compte l'interaction génotype x environnement dès les premiers stades de sélection. Pour cela, il a besoin de critères de sélection héréditaires et utiles pour identifier les génotypes ayant de bonnes chances de porter des gènes favorables à l'expression de rendements élevés dans un environnement de culture différent de celui réalisé en station. Il pourra ainsi déceler des souches prometteuses dès les premières générations suivant les croisements.



### 1.3- ADAPTATION DES VARIETES ET DES ITINERAIRES TECHNIQUES AUX CONTRAINTES DE LA CULTURE PLUVIALE

Le cotonnier est une plante dont le développement, la longueur de son cycle et sa morphologie, interagissent fortement avec les conditions d'environnement, de stress biotiques ou abiotiques, ou avec les paramètres de l'itinéraire technique. Le sélectionneur peut donc combiner les effets de l'environnement naturels et ceux des conditions de culture ou d'itinéraire technique pour tirer le meilleur parti possible de la plante. Dans la bibliographie qui va suivre nous nous intéresserons plus particulièrement aux effets d'un déficit en alimentation en eau et aux techniques culturales qui peuvent être recommandées pour atténuer les effets négatifs d'un déficit hydrique, pour raisonner les critères d'adaptation variétale.

#### 1.3.1- DESCRIPTION GLOBALE DES EFFETS D'UN STRESS HYDRIQUE CHEZ LE COTONNIER

Les effets d'un déficit hydrique du sol sur la plante sont à la fois directs et indirects, car l'état hydrique du sol interagit avec la température du sol (Turner and Kramer, 1980), la disponibilité en éléments nutritifs, en particulier l'azote (Radin *et al.*, 1985), le développement des organismes pathogènes et des parasites (Hake *et al.*, 1990; Ragazzi, 1995).

La réponse du rendement final à une contrainte hydrique résulte d'effets sur différentes étapes du processus de mise en place de la production et intervenant à différentes échelles, depuis la molécule et la cellule jusqu'au peuplement végétal (Passioura, 1979). L'analyse de ces différentes échelles et la connaissance de leur interrelation sont importantes à la compréhension de la variation du rendement en condition sèche. Ainsi, Hearn (1995) a rappelé par exemple pour le cas du coton que la sensibilité plus faible de la division et de la différenciation cellulaire par rapport à l'expansion cellulaire, explique que la morphogenèse (production de nœuds et de boutons floraux) se maintient à un niveau de déficit hydrique ayant déjà induit une réduction de la croissance foliaire ou de la photosynthèse. Comme chez d'autres espèces à croissance indéterminée, la sensibilité au déficit hydrique de la croissance des organes sources d'assimilats et des organes puits végétatifs (feuilles) est plus importante que celle des organes puits reproducteurs sur le coton (Wadleigh and Gauch, 1948; Ball *et al.*, 1994), ou sur légumineuse (Belaygue *et al.*, 1996; Combaud, 1996).

Les effets du déficit hydrique sur la plante et sur la production dépendent de sa position dans le cycle, de sa vitesse de mise en place, de son intensité et de sa durée. Il n'y a pas de consensus dans la littérature quant à un stade de sensibilité plus marqué du cotonnier par rapport à son développement, mais c'est le plus souvent la période comprise entre le début de floraison et le pic de floraison qui est cité comme le plus sensible (Lacape,

1996; 1998). Un certain niveau de déficit hydrique du sol dans la zone racinaire est cependant nécessaire à une optimisation de la production du cotonnier (Guinn *et al.*, 1981; Grimes and Yamada, 1982; Mateos *et al.*, 1991; Munk *et al.*, 1995; Bordowsky and Lyle, 1997), comme pour les espèces légumineuses à croissance indéterminée (Wery, 1996).

Dans les champs cotonniers d'Afrique sub-saharienne, les effets du déficit hydrique sur les rendements s'expliquent par :

- le retard phénologique de la culture par rapport à la période pluvieuse, faisant suite à un semis tardif, ou en raison de resemis, eux-mêmes rendus souvent nécessaire par les caractères erratiques des premières pluies dans ces zones
- un développement général insuffisant de la surface foliaire, limitant l'interception du rayonnement solaire nécessaire à la croissance et entraînant une forte évaporation à la surface du sol

La conséquence majeure du déficit hydrique sur la production résulte d'un arrêt prématuré de la croissance, dont les conséquences sont une incapacité des plantes à maintenir une assimilation de carbone suffisante en phase de formation de capsules, et une réduction du nombre de sites fructifères par arrêt d'émission des phytomères (Lacape, 1998). Dans ce cadre, la période de fructification, qui débute avec la floraison est une phase essentielle à prendre en considération pour l'amélioration de la production.

### **1.3.2- MECANISMES D'ADAPTATION AUX STRESS HYDRIQUES EN CULTURE PLUVIALE**

Pour les cultures conduites en condition pluviale sous climat tropical, la disponibilité en eau détermine le début et la fin de la saison de culture. Un déficit de cet apport d'eau avec les fluctuations du régime des pluies peut se manifester de diverses façons, et différents types de sécheresse climatique peuvent être rencontrés. D'après (Lacape, 1996), on pourra schématiquement distinguer deux situations. Dans un cas, c'est la longueur du cycle des pluies qui sera un facteur limitant pour la plante et la culture, et dans un autre cas, la plante aura à surmonter des périodes de sécheresse au cours de son cycle de développement.

A une situation de sécheresse, communément acceptée comme une donnée climatique en culture pluviale, sont associés des effets liés aux contraintes subies par la plante et la culture. Dans un contexte agronomique l'inaptitude partielle de la plante à répondre à une demande d'évapotranspiration se traduit par un effet sur la production et l'impact de la sécheresse peut s'évaluer par le pourcentage de perte subie par rapport à une culture n'ayant pas subi de sécheresse (Blum, 1988; Richards, 1991).

Selon la terminologie communément acceptée de Levitt (1980b) et rappelée par Lacape (1996), différentes stratégies, ou mécanismes, d'adaptation à la sécheresse sont distingués :



- l'esquive (ou « escape » en anglais) permet à la plante de terminer son cycle avant qu'un déficit en eau du sol et de ses tissus ne se développe. Un développement phénologique rapide, ou encore une plus grande plasticité environnementale seront alors mis en jeu.
- L'évitement (« avoidance » en anglais) : il correspond à la capacité pour la plante d'éviter le dessèchement, en maintenant dans ses tissus une turgescence et une hydratation élevées (maintien du potentiel hydrique interne). Les mécanismes d'évitement impliqueront, soit une réduction des pertes en eau au niveau des feuilles, soit un maintien de l'absorption hydrique par des adaptations du système racinaire. A ces deux types de comportements, on associe des stratégies dites conservatrices et dépensières (« waters avers » et « water spenders »).
- La tolérance : il s'agit de l'aptitude pour la plante à surmonter des périodes de sécheresse malgré une dégradation de son état hydrique (baisse du potentiel hydrique interne). On peut distinguer dans ce cas la tolérance avec un maintien de la turgescence d'une part, et la tolérance à la dessiccation d'autre part. L'ajustement osmotique ainsi que l'élasticité cellulaire contribueront au maintien du potentiel de turgescence. A un niveau cellulaire la tolérance à la dessiccation résulte d'une capacité à atténuer les effets de détérioration des structures cellulaires et membranaires. Elle est appelée le plus souvent tolérance protoplastique.

Ludlow (1989) tente de situer les principales espèces cultivées par rapport à ces stratégies. Il place le coton au même titre que l'arachide, le blé ou la plupart des plantes C4, parmi les espèces développant plutôt une stratégie de tolérance à la déshydratation, tandis que parmi les autres cultures tropicales, le niébé et le sorgho sont des espèces à stratégie d'évitement.

Sur la base de ces différents mécanismes, de nombreuses études cherchent depuis toujours à identifier des caractères physiologiques d'adaptation aux conditions de déficit hydrique : augmentation de l'efficacité de la transpiration (Ray *et al.*, 1974; Quisenberry *et al.*, 1981), contrôle de la vitesse d'enracinement, conductance stomatique, résistance protoplastique (Viera, 1984; Souza and Viera, 1987) etc. Cette approche pluridisciplinaire associant la physiologie et la génétique devrait permettre de définir un ou plusieurs idéotypes, et de recommander des tests de criblage basés sur ces caractères d'adaptation et utilisables dans des schémas de sélection. Les auteurs recommandent le plus souvent la mise en œuvre d'une sélection multicritère associant caractères jugés adaptatifs et productivité dans des schémas de sélection récurrente (Ludlow and Muchow, 1990; Blum, 1992). Mais ces travaux n'ont pas encore débouché sur l'obtention de nouvelles variétés plus performantes en conditions sèches, et les exemples de mise en œuvre de tests de criblage basés sur des critères physiologiques dans des programmes de sélection sur coton comme sur d'autres plantes restent rares (Fisher *et al.*, 1989; Lacape, 1998). De plus, de tels critères seraient probablement difficiles à mettre en œuvre à grande échelle dans un programme de sélection. C'est pour cette raison que dans notre étude, nous nous intéresserons surtout à des critères de morphogenèse simples à utiliser dans un programme de sélection.

Toutefois, les récents développements des biotechnologies offrent des perspectives de mise en œuvre de critères complexes comme les critères physiogénétiques d'adaptation à la sécheresse dans les programmes de sélection. La possibilité de pouvoir recourir au génie génétique ou à la sélection assistée par marqueur pour introgresser des caractères

d'intérêt permet d'espérer des progrès futurs dans les domaines de caractérisation et de transfert de protéine puis de gènes de réponse à des stress environnementaux. Galau *et al.* (1992) ont caractérisé sur le cotonnier certaines séquences de cDNA codant pour des protéines dites LEA (late embryogenesis abundant). Ces protéines joueraient un rôle dans la réponse de diverses plantes à la dessiccation. Ces marqueurs de type RFLP auraient été localisés sur différents sous génome (A, D, E et F) du genre *Gossypium* et seraient présents en deux copies chez les cotonniers allotétraploïdes (Galau *et al.*, 1988). Les techniques électrophorétiques ont permis de mettre en évidence des composés accumulés spécifiquement en réponse à des stress environnementaux. Bhattacharya *et al.* (1991) caractérisent ainsi au moins 7 groupes de protéines HSP (Heat shock proteins). Yan *et al.* (2004) ont trouvé que la surexpression chez le cotonnier d'une protéine isolée chez *Arabidopsis* (protéine 14-3-3 codée par le gène GF14λ) améliore la tolérance de celui-ci à un stress hydrique modéré. Saranga *et al.* (2001) et plus tard Paterson *et al.* (2003) ont caractérisé un ensemble de QTLs associés au rendement et à la qualité de fibre en condition de stress hydrique. Les travaux de ces auteurs ont abouti à la détection de 33 QTLs associé à 5 caractères physiologiques (potentiel osmotique, efficacité d'utilisation de l'eau, température de couvert végétal, chlorophyll a et b), et de 46 QTL associés à 5 descripteurs agromorphologiques de performance (matière sèche, rendement en coton graine, indice de récolte, poids de capsules et nombre de capsules) (Saranga *et al.*, 2004). Mais l'approche moléculaire est encore loin de donner des applications immédiatement utilisables par le sélectionneur de terrain. En outre, ces méthodes sont encore onéreuses pour les filières agricoles de la zone cotonnière de l'Afrique de l'Ouest en raison de leur exigence en technicité et en matériel de laboratoire.

### 1.3.3- AMELIORATION DE LA PRODUCTION COTONNIERE EN CULTURE PLUVIALE

Pour améliorer la productivité de la culture du cotonnier en conditions d'alimentation hydrique limitantes, l'agronome peut intervenir à la fois par des pratiques culturales appropriées ou le choix des types variétaux.

#### a- Approche culturale

Dans les systèmes de culture pluviale, l'efficacité des techniques culturales dépend fortement de la régularité des pluies. L'amélioration de l'alimentation hydrique de la plante dans ces zones à risque climatique pourrait passer par des actions favorisant la mise en place rapide de la culture. Dans ces pays, une meilleure gestion des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle pourrait passer par l'adoption de techniques culturales encore peu utilisées visant à réduire le drainage et l'évaporation: travail réduit du sol (Lawlor *et al.*, 1992) ou une absence de travail du sol (Bordowsky *et al.*, 1994), paillage etc. Dans une rotation culturale entre le coton et le maïs en Côte d'Ivoire, Chopart et Kone (1985) recommandent la technique de semis direct du coton sans labour qui, associée à un paillage, assure de meilleures conditions d'alimentation hydrique. D'autres techniques culturales, comme le semis précoce ou la fertilisation,



l'amélioration de la qualité des semences ou le pré-traitement des semences favorisant une germination rapide, l'apport d'engrais précoce à effet starter ont été également rapporté (Lacape, 1998).

La densité de semis joue un rôle important sur la morphologie des plants, sur leur précocité de fructification, et sur le rendement (Kerby *et al.*, 1990a; 1990b). En conditions hydriques limitantes, les fortes densités, appelée culture de type « narrow row », ont été rapportées par différents auteurs comme ayant un effet bénéfique (Lacape, 1996). Les différents facteurs qui justifient ce type de production, les conditions de mise en oeuvre et les génotypes appropriés à ce système de culture sont discutés plus loin.

Ces techniques ne sont pas cependant spécifiques à la culture du coton et leur mise en oeuvre doit le plus souvent être raisonnée à l'échelle du système de culture.

Dans la plupart des pays producteurs de coton en Afrique de l'ouest, la conduite de la culture est basée sur des itinéraires techniques standard adaptés à des semis de début de saison de pluie. L'ensemble des opérations culturales est calé par rapport à la date de semis, en particulier, les dates d'apports des engrais, les dates d'application des insecticides. Les densités pratiquées varient de 42000 plantes par ha à 62000 plantes par ha au Bénin, mais elles peuvent atteindre 80000 plantes par ha en Côte d'Ivoire. Le labour manuel est la pratique courante, la culture attelée étant aussi de plus en plus utilisée. Seulement quelques paysans ont accès au labour mécanique. La culture est semi - intensive avec un taux d'adoption de plus de 95 % de l'utilisation des intrants (fumure minérale, protection insecticide). Le désherbage manuel est courant, mais des herbicides de pré - levée sont adoptés par les producteurs ayant de grandes superficies ; la récolte est partout manuelle.

Dans les systèmes de culture permettant un strict contrôle des conditions de milieu, la culture cotonnière est conduite d'après les besoins en temps réel de la plante. Des indicateurs de pilotage sont mesurés directement sur la plante ou sur le peuplement. On peut citer le ratio de la hauteur des plants au nombre de nœuds de la tige (« height to node ratio », HNR), le taux de croissance de ces deux paramètres, la surface foliaire, ou encore le NAWF. Ces indicateurs sont utilisés pour décider des interventions culturales telles que l'irrigation, la fertilisation, les traitements insecticides, l'usage des régulateurs de croissance etc. (Oosterhuis *et al.*, 1990; Jeffrey, 1994; Wrona and Kerby, 1994; Spines, 1996). Une valeur de NAWF d'environ 5 par exemple apporte l'indication de l'imminence de la cessation de croissance (cutout) et rend compte de la diminution des besoins d'irrigation (Bourland *et al.*, 1992). L'adoption de fortes densités de peuplement (culture dite "narrow row cotton"), et l'utilisation raisonnée d'hormones et de régulateurs de croissance permettent de contrôler la croissance des plantes et d'optimiser les coûts de production (Kale *et al.*, 1991; Fernandez *et al.*, 1992; Oosterhuis, 1995; Martin, 2000). Dans sa revue bibliographique, Lacape (1996) a rapporté ces techniques comme pouvant améliorer également la résistance du cotonnier à la sécheresse en culture pluviale de par leurs effets sur les mécanismes d'adaptation à la sécheresse. Gadallah (1995) met en évidence, sur des cotonniers en pot, un effet favorable d'un traitement conjoint avec de l'acide abscissique (ABA, abscisic acid) et de la proline, sur la tolérance des membranes à un dessèchement du sol, et recommande ce type de traitement pour des cultures soumises à une contrainte hydrique sévère. L'utilisation des hormones benzylaminopurine (BAP) et acide abscissique (ABA) en traitement de culture a allégé sensiblement les effets néfastes d'un déficit hydrique sur la

photosynthèse nette, la conductance stomatique, l'efficacité d'utilisation de l'eau, les activités enzymatiques, la production de fibre et le nombre de graine par plant (Pandey *et al.*, 2003).

## **b- Approche variétale**

L'amélioration de la production dans les systèmes de culture pluviale passe également par la recherche de variétés adaptées aux conditions limitantes de pluies. Dans ce contexte, les variétés à cycle court sont habituellement recommandées. Plusieurs auteurs ont montré que les pertes de rendement en semis tardifs sont moindres avec les variétés précoces qu'avec les génotypes à cycle long. En Arkansas, dans une étude comparant la culture dérobée de coton après le blé à la monoculture de coton, des génotypes précoces de coton ont enregistré des rendements réduits de 35 à 50% contre 50 à 65% pour des variétés plus tardives (Wayne Smith and Varvil, 1982). Dans le Nord est de Mississipi, les variétés précoces pouvaient être semées avec deux semaines de retard par rapport à la date optimale recommandée pour les variétés de pleine saison sans grande pénalité pour le rendement (Normie and Glen, 1995). Au sud est des USA, Porter *et al.* (1995) ont trouvé que le cultivar plus tardif Deltapine 5415 donnait les meilleurs rendements dans les semis précoces tandis que les cultivars à cycle plus courts Coker 130 et DES 119 produisaient relativement mieux dans les semis tardifs.

Ainsi, la plupart des travaux identifient la précocité comme principal caractère d'adaptation au semis tardif. Les travaux de sélection de variétés adaptées au semis tardif qui ont eu le plus de succès jusqu'à présent à notre connaissance sont ceux qui ont travaillé à réduire la durée de cycle des variétés. Les auteurs américains classent les variétés selon leur longueur de cycle en « fast fruiting breeding line », « early maturing cultivar », « moderate early maturing cultivar » et « full season cultivars » sans aller toutefois jusqu'à caractériser précisément ces types variétaux sur le plant morphologique ou architectural. Cabangbang *et al.* (1989) ne montrent pas de relation directe entre les différents index de précocité et les indicateurs morphologiques de l'architecture des plants tels que le nombre et la longueur des nœuds de la tige. Cet auteur, comme Mauney (1986), recommandent finalement l'utilisation de la date d'apparition de la première fleur comme le meilleur critère de précocité pour la sélection.

### **1.3.4- LA CUTURE "ULTRA NARROW ROW COTTON (UNRC)"**

Si la précocité apparaît comme un critère de sélection variétal d'adaptation à des conditions hydriques limitantes, l'augmentation de densité de plantation peut être aussi un facteur d'amélioration de cette précocité.



## a- Définition et avantages

La culture dite Ultra Narrow Row Cotton (UNRC) a été développée aux USA durant la dernière décennie. L'UNRC est un système de culture où le coton est semé à des espacements très réduits entre lignes et à des densités extrêmement fortes. Dans ce système de culture, les espacements recommandés entre lignes de semis variaient de 20,3 à 30,5 cm (Spines, 1996) ; ces espacements ont été définis plus tard à moins de 25,4 cm entre lignes (Atwell, 1996). Généralement les densités de peuplement en UNRC sont supérieures à 24,7 plants par m<sup>2</sup>, soit plus de 247000 plantes par ha (Perkins, 1998)

La réduction des espacements entre lignes de semis et l'augmentation des densités de peuplement conduisent à une couverture plus rapide du sol qu'en système conventionnel (Heitholt *et al.*, 1992). Cette rapide couverture du sol entraîne en retour une réduction de la compétition des mauvaises herbes (Spines, 1996), un accroissement de la lumière interceptée, un taux de conversion photosynthétique plus effectif (Howell *et al.*, 1984) et une diminution de l'évaporation directe de l'eau à partir du sol (Krieg, 1996). Le système permet ainsi qu'une plus forte proportion de l'eau du sol soit utilisée par la plante plutôt que d'être perdue par évaporation directe.

Lewis (1971) soutenait que les cotonniers cultivés en UNRC exhibent des schémas de fructification où les fleurs sont produites à des intervalles plus réguliers que dans le système conventionnel. Il concluait alors qu'en UNRC, peu de capsules par plant seraient nécessaires pour maintenir des rendements aux niveaux courants et par conséquent, le temps requis pour atteindre ce niveau courant de rendement est réduit. Du fait de la réduction du temps de production, les nombres de traitements insecticides nécessaire pour protéger les capsules sont plus faibles (Allen *et al.*, 1998). La synchronisation de l'apparition des fleurs chez toutes les plantes améliore l'efficacité des traitements insecticides et les effets des régulateurs de croissance (Lewis, 1971). L'UNRC permet également de contraindre les géotypes à croissance indéterminée à avoir plutôt une croissance plus déterminée (Jost and Cothren, 2000).

Plusieurs travaux ont mis en évidence une augmentation du rendement sous ce système de culture par rapport au système conventionnel (Briggs *et al.*, 1967; Hoskinson *et al.*, 1974). Selon Krieg (1996) l'UNRC entraîne un plus fort taux de croissance des cotonniers et produit plus de sites fructifères tôt en début de saison ; en conséquence, les pourcentages de capsules sont plus élevés dans la partie basse du plant (Buxton *et al.*, 1979). Pratiqué dans les régions sèches, Gerik *et al.*, (1998) trouvait que l'UNRC a augmenté le rendement de 37% ; (Cawley *et al.*, 1998) faisait état d'une réduction du temps de maturation des fruits d'environ 12 jours.

Dans le passé, ce système de production était très peu accepté à cause de l'inexistence d'herbicide de post levée et en raison des problèmes de pourriture de capsules inhérents à l'abondance de la croissance végétative dans les parcelles (Wannamaker, 1971). Le problème de contrôle des adventices a été contourné par l'émergence des cultivars résistants aux herbicides (Spines, 1996; Gerik *et al.*, 1998) et l'utilisation du mépiquat de chlorure qui pouvait contrôler la croissance excessive de la végétation (Atwell, 1996). Depuis, on a observé, surtout aux USA, un engouement accru pour cette technique de production. Les raisons de cet engouement étaient la possibilité de réduire

les coûts de production, de raccourcir la période de production tout en augmentant le rendement.

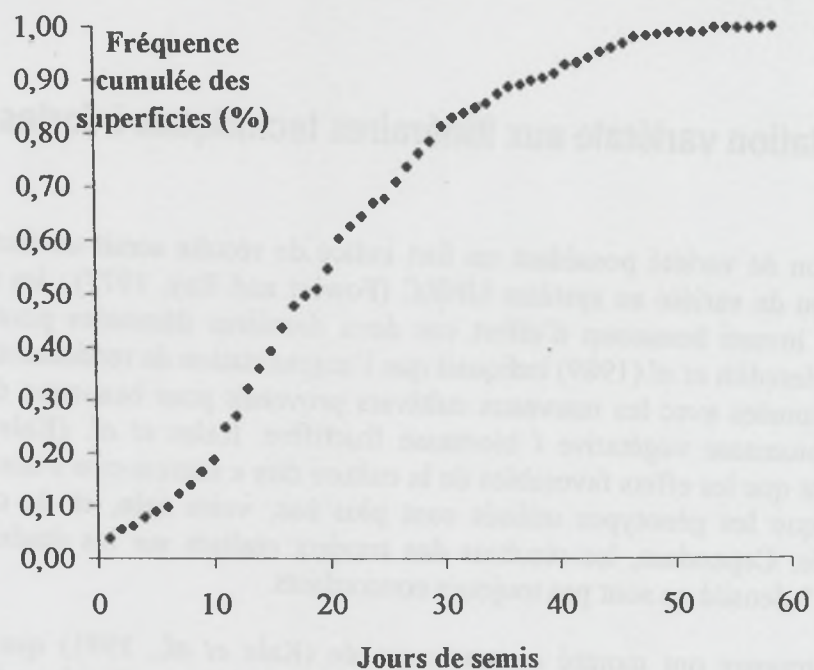
## **b- Adaptation variétale aux itinéraires techniques à fortes densités**

La sélection de variété possédant un fort indice de récolte serait un facteur clef dans l'adaptation de variété au système UNRC (Fowler and Ray, 1977) ; les sélectionneurs coton ont investi beaucoup d'effort ces deux dernières décennies pour atteindre cet objectif. Meredith *et al.* (1989) indiquait que l'augmentation de rendement enregistré ces dernières années avec les nouveaux cultivars provenait pour beaucoup de la réduction du ratio biomasse végétative / biomasse fructifère. Kales *et al.* (Kale *et al.*, 1991) indiquaient que les effets favorables de la culture dite « narrow-row » sont d'autant plus marqués que les génotypes utilisés sont plus bas, voire nain, et de croissance plus déterminée. Cependant, les résultats des travaux réalisés sur les études d'interaction génotype \* densité ne sont pas toujours concordants.

Certains travaux ont montré comme ceux de (Kale *et al.*, 1991) que les génotypes compacts sont mieux valorisés aux fortes densités (Wayne Smith and Varvil, 1982; Kerby *et al.*, 1990a; 1990b). D'autres par ailleurs ont tendance à montrer que le rendement augmente en général à forte densité, mais pas spécifiquement pour un type donné de variété (Low *et al.*, 1975; Hernandez-Jasso and Guitiérrez-Zamoran, 2000; Witten and Cothren, 2000). Ces résultats, bien que non contradictoires, ne sont pas conclusifs et méritent d'être approfondis par des expérimentations supplémentaires. Kerby and Buxton (1981) ont montré chez le cotonnier que lorsque la première position de branche fructifère retient une capsule, 45% des squares en position 2 avortent à forte densité comparé à seulement 35% à faible densité. Sous un système de culture à forte densité, la probabilité d'accrocher de capsules en position 2 de branche fructifère est donc potentiellement faible, si bien qu'on peut imaginer que l'utilisation des cultivars à longues branches pourrait s'avérer inefficace dans ces conditions de production.

Une autre étude montrait que les assimilats produits par les feuilles au sommet des plants servent préférentiellement à alimenter les puits végétatifs plutôt qu'à nourrir les capsules en bas du plant (Kerby *et al.*, 1980); ce résultat suggère a posteriori que l'utilisation de cultivars ayant une surface foliaire réduite dans les parties supérieures des plants pourrait améliorer l'efficacité d'utilisation des assimilats en système de culture à forte densité. Les travaux cités ci-dessus justifient la nécessité d'examiner plus en détail les avantages liés à l'utilisation des variétés compactes dans les systèmes de culture à forte densité.





**Figure 1-7 : Etalement des dates de semis en culture cotonnière au Bénin (source : enquête PARCOB 2002-2005)**

## 1.4- PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Les variétés de cotonnier ont été sélectionnées en Afrique de l'ouest et du centre pour un itinéraire technique standard adapté à un semis du début de saison des pluies et à des densités relativement faibles, autour de 42000 plantes par ha. Dans ces conditions, les variétés mises au point dans divers pays à partir de fonds génétiques différents ont convergé vers une architecture commune, une forte capacité de floraison, des branches végétatives développées, des entrenœuds longs et des cycles phénologiques de type indéterminé, correspondant a posteriori, au génotype adapté à ces conditions environnementales et techniques de culture (Lançon *et al.*, 1990; Hau *et al.*, 2001).

Toutefois, les agriculteurs mettent aussi en place tardivement une proportion importante de leurs cultures pour diverses raisons : problèmes de trésorerie, disponibilité de main d'œuvre, ou irrégularité des précipitations en début de campagne. Les semis peuvent ainsi s'échelonner sur une période de deux mois (Figure 1-7) alors que la recherche recommande une période de trois semaines au plus. Or un retard de semis expose les cotonniers à des durées de pluie plus réduites. La durée des pluies après le semis indique en culture pluviale un temps de « fonctionnement » du cotonnier pendant lequel le processus de développement fructifère induit par la croissance végétative va déterminer après régulation par abscission, le nombre de capsules à la récolte.

D'après une enquête diagnostic réalisée au Bénin durant la période allant de 2002 à 2005 pour identifier les facteurs de stagnation de la production cotonnière, la date de semis a confirmé son rôle de déterminant essentiel du rendement à travers ses effets sur le nombre de capsules produites. Cette étude a montré que le nombre de capsules par m<sup>2</sup> diminue lorsque la durée des pluies après semis se réduit, avec pour conséquence une baisse du rendement potentiel de l'ordre de 50 kg/ha par « jour de retard » au semis (jours de moins de la durée des pluies) (Cretenet *et al.*, à paraître). Ce travail, qui a montré l'importance des semis tardifs au Bénin à travers l'étalement des dates de semis (Figure 1-7) a ainsi mis en évidence la nécessité de trouver des itinéraires techniques pour améliorer la productivité des cotonniers en conditions de semis tardif au Bénin.

Les agronomes ont commencé à répondre à cette nouvelle demande en développant des itinéraires techniques adaptés à ces cultures tardives et qui se caractérisent en particulier par une plus forte densité de semis (Lançon *et al.*, à paraître). Sur le plan variétal, il devient nécessaire de prendre en compte cette diversification des itinéraires techniques dans les recommandations variétales. Pour ce faire, la sélection cotonnière doit pouvoir répondre aux questions suivantes :

- Le type variétal tardif à grand développement végétatif est-il adapté aux divers itinéraires techniques actuellement testés, en particulier les semis tardifs et les hautes densités ?
- Des types variétaux plus précoces et moins végétatifs pourraient-ils avoir leur place ?
- Quels critères simples à utiliser en sélection permettraient de distinguer efficacement les types variétaux performants et quelles places accorder à ces critères dans les programmes de sélection ?
- Quelles stratégies de sélection mettre en œuvre en fonction des conditions de culture auxquelles sont destinées les variétés afin de mettre au point du matériel végétal performant ?



Pour répondre à ces interrogations, nous avons choisi de nous baser sur des situations de culture qui prévalent ou qui sont actuellement en cours d'étude au Bénin : des itinéraires de semis précoce et des itinéraires de semis tardif.

Notre hypothèse de travail est que les variétés à grand développement végétatif conviendraient aux conditions, notamment pluviométriques, qui prévalent lors des semis précoces tandis que les variétés précoces seraient plus indiquées en conditions de semis tardif. Le cotonnier ne reçoit alors qu'une partie des pluies et les variétés à fort développement végétatif ne peuvent achever leur cycle dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique. En combinant les effets dus à la réduction du port et au gain de précocité, à ceux liés à l'augmentation de la densité, nous espérons accroître encore la compensation des pertes de rendement liés au semis tardif (Kerby *et al.*, 1980; Kerby and Buxton, 1981; Hau and Goebel, 1986; 1987; Kerby *et al.*, 1990a).

Pour tester cette hypothèse, nous avons placé et observé plusieurs génotypes dans des situations contrastées du point de vue des dates de semis et des densités de culture. Ces génotypes ont été choisis de manière à représenter, pour les caractères qui nous intéressent, une grande partie de la variabilité disponible dans l'espèce *G. hirsutum*.

L'analyse permettra :

- 1) De révéler des stratégies variétales qui optimisent le rendement dans différentes situations,
- 2) De traduire ces stratégies en critères de sélection en se basant surtout sur les paramètres phénologiques et morphologiques qui sont certainement plus simples et plus rapides à apprécier que des caractères physiologiques,
- 3) De raisonner ces critères dans les tests de criblage en sélection.

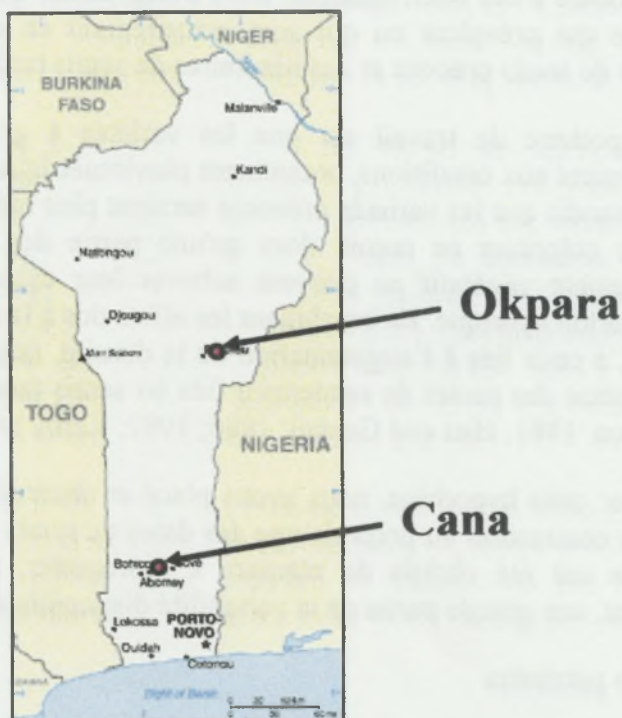


Figure 2-1 : Carte du Bénin avec les sites d'expérimentation de Cana et d'Okpara

Tableau 2-1 : Caractéristiques moyennes des sols en 2002 pour l'horizon 0-20 cm

Site	pH	Argiles et limons (%)	C total (%)	N total (%)	C/N
Cana	6,2	23,50%	0,94	0,078	12,05
Okpara	-	22,40%	1,43	0,167	8,56

Source : Centre agropédologique du Bénin

Tableau 2-2 : Description des essais

Site	Saison	Date de semis	Pluviométrie utile (mm) <sup>i</sup>	Durée cycle (jours) <sup>ii</sup>	Rdt moyen (kg/ha)
Okpara	2002	26-juin	826	108	2025
		17-juil	755	103	1463
	2003	20-juin	858	113	2356
		18-juil	701	108	1580
Cana	2002	28-juin	499	105	1243
		02-août	356	104	1230
	2003	24-juin	406	102	1125
		24-juil	461	102	700

<sup>i</sup>Quantité de pluie tombée de 10 jours avant le semis jusqu'à la première récolte; <sup>ii</sup>Nombre de jours entre la levée et la date d'ouverture d'une capsule par plant; Rdt=rendement



---

## 2- MATERIELS ET METHODES

---

### 2.1- DISPOSITIFS GENERAUX D'EXPERIMENTATION

#### 2.1.1- SITES

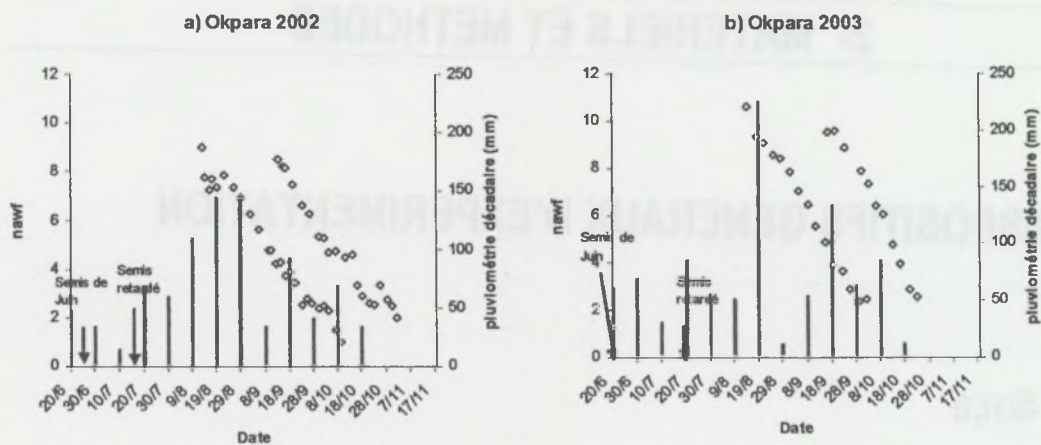
Les essais ont été conduits sur deux sites d'expérimentation du Centre de Recherche Agricoles Coton et Fibres (CRA-CF) au Bénin durant les saisons 2002-2003 et 2003-2004 (Figure 2-1): Okpara au centre de la zone cotonnière et Cana au sud (soit au total 4 répétitions du même essai). Pour alléger la présentation, nous désignerons par 2002 la saison 2002-2003 et par 2003 la saison 2003-2004.

Les parcelles d'essai étaient choisies dans un même bloc expérimental. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux à Okpara et ferralitique à Cana ; ces sols sont à faible et très faible teneur en argile et limon et en matière organique comme la plupart des sols tropicaux; les caractéristique moyennes des sols dans l'horizon de surface (0-20 cm) sont donnés dans le tableau 2-1 pour l'année 2002.

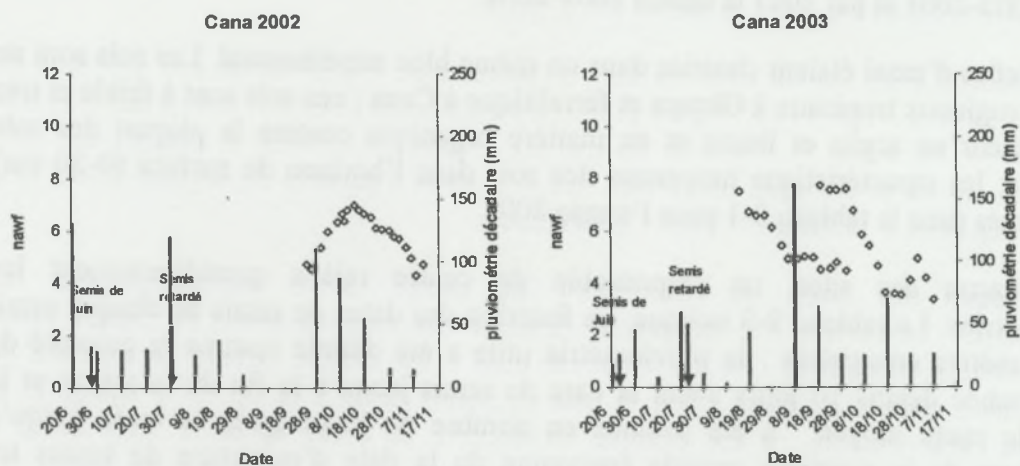
Dans chacun des sites, un responsable de centre relève quotidiennement les pluviométries. Le tableau 2-2 indique, en fonction des dates de semis de chaque essai, les paramètres enregistrés : la pluviométrie utile a été définie comme la quantité de pluie tombée depuis 10 jours avant la date de semis jusqu'à la fin de la saison et la durée de cycle moyen, a été évaluée en nombre de jours après la levée jusqu'à l'ouverture de la première capsule (moyenne de la date d'ouverture de toutes les variétés). Le rendement moyen obtenu dans chaque essai y figure a titre indicatif et confirme le potentiel de production du site d'Okpara, à la fois plus important et plus régulier que celui de Cana.

Pour caractériser les conditions de croissance et de développement des cotonniers dans les deux sites, nous avons réalisé des relevés de NAWF comme décrits par Bourland *et al.*, (1992), Bourland *et al.*, (1994), Oosterhuis *et al.*, (1994), Oosterhuis *et al.*, (1996). Les relevés de NAWF ont été réalisés deux fois par semaine, depuis le début de la floraison jusqu'à la fin de la floraison, sur les lignes centrales des parcelles élémentaires. Ils portaient à chaque fois sur cinq plants consécutifs ayant une fleur du jour (fleur blanche) en première position de branche fructifère. Ils consistaient en des comptages des nombres de nœuds sur la tige principale situés au dessus de la dernière fleur blanche en première position de branche fructifère. Les relevés de NAWF correspondant à la première date de semis de l'essai de Cana en 2002 n'ont pas pu être effectués.

A Okpara où les pluies ont été relativement abondantes (Tableau 2-2) et régulières (Figure 2-2) en 2002 comme en 2003. Le NAWF a montré une décroissance régulière et



**Figure 2-2 : Pluviométrie décadaire et évolution du NAWF à Okpara au cours des saisons 2002-2003 et 2003-2004 (relevés effectués pour 6 variétés : Chaco 520, Irma A 1042, Mar 88-214, Oultan, S 188 et Stam 18 A)**



**Figure 2-3 : Pluviométrie décadaire et évolution du NAWF à Cana au cours des saisons 2002-2003 et 2003-2004 (relevés effectués pour 6 variétés : Chaco 520, Irma A 1042, Mar 88-214, Oultan, S 188 et Stam 18 A)**



quasi linéaire au cours du temps (Figure 2-2). L'évolution du NAWF a été représentative de conditions normales de développement suivant le modèle de croissance proposé par les travaux réalisés aux Etats-Unis (Bourland *et al.*, 1992; Bourland *et al.*, 1994; Oosterhuis *et al.*, 1994; 1996). Le développement végétatif a toutefois été plus vigoureux en 2003 avec un démarrage de la floraison à un NAWF compris entre 10 et 11 contre un NAWF compris entre 8 et 9 en 2002.

A Cana, on observe les caractéristiques d'un régime pluviométrique bi-modal. Le coton se sème pendant la petite saison de pluie, et souvent en culture dérobée après le maïs. Les pluies ont été plus irrégulières à la fois au cours de la période de culture qu'entre les années (Figure 2-3), avec en 2002, une période de sécheresse importante au mois de septembre. Pour les deux années correspondantes, les pluies disponibles pour la culture étaient plus faibles qu'à Okpara (Tableau 2-2). Les suivis de NAWF (Figure 2-3) ont révélé un développement perturbé par les irrégularités climatiques. Suivant le modèle d'analyse de croissance proposé par les auteurs américains (Bourland *et al.*, 1992; Bourland *et al.*, 1994; Oosterhuis *et al.*, 1994; 1996), le semis tardif de 2002 est révélateur de situations de stress: après un démarrage difficile, la végétation a repris avec les pluies d'octobre mais elle a été stoppée à un niveau élevé de NAWF qui indique que les plantes n'ont pas été jusqu'au bout de leur cycle potentiel. Les graphes de 2003 montrent des rythmes de floraison plus normaux mais avec des reprises de végétation au milieu du mois de septembre en semis de juin et au début de novembre en semis retardé. Ces redémarrages de la croissance végétative suivent probablement des chutes de capsules d'origine physiologique ou parasitaire.

## 2.1.2- ITINERAIRES TECHNIQUES

Les mêmes itinéraires techniques ont été suivis les deux années dans les deux lieux. A part la date de semis, la densité et les variétés qui sont les facteurs étudiés, tous les autres facteurs cultureux sont optimisés, en particulier la fumure minérale, le contrôle des adventices et la protection insecticide.

La fumure minérale était basée sur les recommandations vulgarisées par la recherche : 200 kg de NPKSB 14-23-14-5-1 à environ 15 jours après levée suivi d'un apport de 50 kg/ha d'Urée à environ 45 jours après levée sur les semis précoces ; sur les semis tardifs, aucun apport d'urée n'a été fait. Sur les sols particuliers de Cana (« terres de barre »), un apport complémentaire de 50 kg de Kcl a été également apporté en même temps que l'Urée.

Trois sarclages, réalisés suivant l'état d'enherbement des parcelles, ainsi qu'un sarclobuttage à 50 jours après levée ont permis de contrôler efficacement les adventices. Une protection insecticide renforcée par des traitements systématiques hebdomadaires a été mise en place dès la floraison des premières variétés et jusqu'à la première récolte afin de contrôler efficacement la pression parasitaire des insectes ; les deux premiers traitements insecticides étaient à base d'endosulfan ; les traitements suivants combinaient un produit pyréthriné et un produit organophosphoré acaricide ou aphicide suivant qu'on se situait à la mi-floraison ou en fin de floraison.



**Tableau 2-3 : Origine et caractérisation des génotypes classés selon leur précocité**

Variété	Origine	Zone de culture	Floraison	Port
Mar 88-214	USA	USA	Précoce	Compact-branches courtes
Oultan	Ouzbékistan	Iran	Précoce	Cluster
Chaco 520	Argentine	Argentine	Précoce	Compact
Rockett	USA	USA	Normale	Compact-branches courtes
Guazuncho 2	Argentine	Argentine	Normale	Compact
H 279-1	Togo – Bénin	Bénin	Tardive	Elancé-arborescent
Irma 772	Cameroun	Sénégal	Tardive	Elancé- branches courtes
S 188	Nicaragua	Nicaragua	Tardive	Feuille Okra –arborescent
Stam 18 A	Togo – Bénin	B énin	Tardive	Elancé-arborescent
Irma A 1042	Cameroun	Cameroun	Tardive	Elancé-arborescent

*H 279-1 et Stam 18 A sont deux descendance d'un même croisement*



Oultan (cliché : S. LEWICKI)



Irma A 1042 (cliché : S. LEWICKI)



Mar 88-214 (cliché : S. LEWICKI)



Vue partielle de l'essai montrant deux architectures différentes de variétés semées à la même date et à une même densité en 2003 à Okpara (cliché : E. SEKLOKA)

**Figure 2-4 : Photos de quelques variétés expérimentées dans le cadre de ce travail**



## 2.1.3- TRAITEMENTS ETUDIES

### a- Variété

Les variétés comparées dans cette étude étaient au nombre de 10. Ces variétés appartiennent toutes à l'espèce cultivée *Gossypium hirsutum* L. Elles étaient retenues pour être contrastées du point de vue de leur morphologie et de la longueur de leur cycle et de leur origine géographique (tableau 2-3).

Les variétés H 279-1 et Stam 18 A sont considérées comme des variétés tardives à grand développement végétatif. Elles sont issues d'un même croisement, mais diffèrent surtout par la taille des cotonniers (plus court chez H 279-1) et par la précocité d'ouverture de capsule et de production de coton graine (H 279-1 étant le génotype le plus précoce). Ces deux variétés étaient cultivées au Bénin de 1996 à 2002 pour Stam 18 A et de 2002 jusqu'à nos jours pour H 279-1. Elles sont de bonne productivité et s'adaptent bien aux conditions de culture du Bénin (Hougni *et al.*, 1999) ;

Les variétés Irma A 1042 et Irma 772 du Cameroun sont du même groupe morpho-phénologique que les deux précédentes, à la différence que Irma A 1042 semble un peu plus végétative et est réputée être la variété la plus tardive des dix variétés testées.

La variété S 188 a des feuilles à lobes très découpés « feuille okra ». Ce caractère offre un intérêt particulier. Grâce à une couverture foliaire moins dense, les traitements insecticides pénètrent plus librement à l'intérieur de la plante et l'efficacité de ceux-ci est ainsi accrue. Mais avec ce type de feuillage, on enregistre souvent une perte de productivité (Lançon, 1995). Une meilleure connaissance de l'interaction avec la date de semis et la densité (les deux autres traitements étudiés), pourrait permettre de mieux comprendre l'utilisation de ce caractère pour la création de variétés.

Les variétés Guazuncho 2, Rockett et Chaco 520 étaient considérées comme des variétés précoces. Leur appareil végétatif est moins dense que ceux des types africains; elles ont souvent enregistré dans nos collections des résultats agronomiques faibles par rapport aux variétés vulgarisées (Sêkloka *et al.*, 2004).

La variété Oultan, présente un port en colonne (caractère « cluster fruiting » et « cluster flowering ») ; elle était considérée comme précoce avec des performances agronomiques faibles. Les branches fructifères sont souvent limitées à deux positions maximum ; les entrenoeuds sur les branches fructifères sont très courts et chaque position peut potentiellement porter plusieurs fleurs. Évaluée dans la parcelle de collection du programme de création variétale du Bénin en 2002, elle donna un rendement très faible (Sêkloka *et al.*, 2004).

La variété réputée la plus précoce est Mar 88-214 originaire d'un programme multi résistance de l'USDA aux USA. Elle est très compacte et développe de courtes branches fructifères et végétatives (Figure 2-4).



Vue partielle de l'essai en 2003 à Cana: en bas à gauche un semis retardé avec une variété à feuille normale, à droite un semis de bonne date avec une variété à feuille okra (Cliché : E. SEKLOKA).



Vue partielle de l'essai en 2003 à Okpara : une allée de 1 m entre deux répétitions (Cliché : S. LEWICKI)

**Figure 2-5 : Vues partielles des champs d'essai en 2003 à Cana et à Okpara**



## **b- Densité**

Trois densités ont été testées : 42000, 125000 et 167000 plantes par ha. 42000 plantes par ha est la densité moyenne recommandée en culture cotonnière au Bénin ; elle servait donc de densité témoin ; les densités 125000 et 167000 plantes par ha ont été choisies pour avoir des compétitions fortes entre cotonniers afin d'analyser les interactions avec les variétés et la date de semis ; nous avons été contraint d'arrêter à 167000 plantes par ha en raison des conditions manuelles de semis. Des densités supérieures ne seraient pas réalisables dans la pratique. Ces densités ont été maintenues au cours des deux années d'expérimentation et dans les deux lieux. La densité de 42000 plantes par ha a été obtenue avec un écartement de 0,8 m entre lignes et 0,3 sur la ligne avec démariage à 1 plant par poquet ; les densités de 125000 et 167000 ont été réalisées avec 0,4 m entre lignes et respectivement 0,2 et 0,15 m entre poquets, toujours démariés à 1 plant par poquet.

## **c- Date de semis**

Chaque essai comportait deux dates de semis décalées d'au moins trois semaines, la première au mois de juin et la seconde retardée au mois de juillet ou août. Le semis de Juin représente la date de semis recommandée par la recherche. Les dates des semis retardés étaient choisies de manière à représenter les situations extrêmes de semis souvent observées en milieu paysan.

A Cana, la période recommandées pour les semis va du 25 juin au 15 juillet ; en 2002, une absence de pluie vers la fin du mois de Juillet dans cette localité nous a obligé à décaler de plus d'un mois la date du semis retardé. A Okpara, les dates recommandées étaient du 10 juin au 05 juillet. Nos semis retardés ont été réalisés autour du 20 Juillet (Tableau 2-2).

### **2.1.4- DISPOSITIF**

Le dispositif expérimental est un split-split-plot à 3 répétitions, avec les variétés en petites parcelles, les densités en moyenne parcelle et les dates de semis en grandes parcelles. Ce dispositif a été réalisé suivant la méthodes de randomisation décrites dans Gomez and Gomez (1984).

Les parcelles élémentaires étaient de 14,4 m<sup>2</sup>. Elles étaient constituées de 3 lignes de 6 m espacées de 0,8 m pour la densité de 42000 plantes par ha ; les densités de 125000 et 167000 plantes par ha faisaient 6 lignes de 6 m espacées de 0,4 m. Pour limiter les effets de bordure des rangées de cotonniers ont été installées, chacune semée à la même date que la parcelle élémentaire à laquelle elle était adjacente.

La production de coton graine, ainsi que les observations sur la morphologie, la phénologie ont été réalisées sur les lignes centrales (2<sup>ème</sup> ligne pour les parcelles de 3

**Tableau 2-4 : Variables de caractérisation morphologique des variétés**

<b>Abrégé</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
<b>HT</b>	Hauteur de la tige principale	Cm
<b>NN</b>	Nombre de nœuds sur la tige principale	
<b>HNR</b>	Hauteur d'entre-nœud ("height to node ratio")	cm
<b>NBV</b>	Nombre de branches végétatives	
<b>LBV</b>	Longueur de la plus longue branche végétative	Cm
<b>LBF</b>	Longueur de la plus longue branche fructifère	Cm



lignes et 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> ligne pour les parcelles de 6) ; Les poids moyens capsulaires ont été relevés sur les lignes latérales.

## 2.1.5- VARIABLES OBSERVEES

Certaines variables ont été mesurées à l'échelle du plant. Ce sont essentiellement les descripteurs de morphologie et de profil de répartition capsulaire. D'autres sont mesurées à l'échelle de la parcelle. C'est le cas du rendement en particulier et des variables agro-phénologiques en général.

Les caractérisations morphologiques des cotonniers ainsi que la répartition capsulaire sur le plant ont été réalisées après les récoltes par des mesures directes sur les plants individuels (mensuration) et par la technique de « plant mapping » (Bourland *et al.*, 1990). Après récolte complète des capsules, 5 plantes choisies au hasard sur les parcelles élémentaires avaient fait l'objet de mensuration (description morphologique) et d'une analyse de cartographie des sites reproducteurs sur la plante. Pour chaque position nous avons noté soit la présence d'une capsule, soit celle d'un organe reproducteur avorté ou l'absence de l'organe reproducteur, dont la cicatrice du pédoncule est reconnaissable. Les taux de rétention ont été alors calculés.

### a- Développement végétatif

Nous avons décrit la morphologie des génotypes en utilisant la taille des cotonniers, la longueur des branches, des entrenœuds de la tige principale et le nombre de branches végétatives (NBV) (Tableau 2-4). La taille des cotonniers a été appréciée avec la hauteur de la tige principale (HT) mesurée à partir des nœuds cotylédonaire et le comptage du nombre de nœuds sur la tige principale (NN), en considérant le nœud cotylédonaire comme étant le niveau zéro. Le rapport entre la hauteur de la tige principale et le nombre de nœuds a permis de calculer la hauteur d'entrenœud appelée « height to node ratio » (HNR). Les longueurs de branche ont été prises sur les 2<sup>ème</sup> branches végétatives (LBV) et les 3<sup>ème</sup> branches fructifères (LBF) qui représentent souvent les deux branches les plus longues et les plus pertinentes pour rendre compte des longueurs de branches chez les variétés de cotonnier (Hau and Goebel, 1986).

### b- Développement reproducteur

Le comptage du numéro de nœud d'insertion de la première branche fructifère (NPBF) a été réalisé par plant et sur les cinq plants choisis par parcelle élémentaire pour la cartographie des positions fructifères. Il a consisté en un comptage des nœuds de la tige principale partant du nœud cotylédonaire considéré comme niveau zéro jusqu'à la première branche fructifère.

**Tableau 2-5 : Variables de caractérisation de la durée du cycle**

<b>Abrégé</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
<b>NPBF</b>	Nœud de la première branche fructifère	
<b>PFM</b>	Date moyenne d'apparition de la première fleur	jal
<b>OPCM</b>	Date moyenne d'ouverture de la première capsule	jal
<b>R1/RT</b>	Précocité de production	%
<b>DDFU</b>	Date de la dernière fleur utile	jal
<b>DDFP1</b>	Date de la dernière fleur en P1 ayant donnée de capsule	jal
<b>TFU</b>	Temps de floraison utile	jours

*jal = jours après levée; P1 = première position de branche fructifère*



La date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) a été déterminée par comptage quotidien du nombre de fleurs du jour (fleur blanche) sur les lignes centrales des parcelles élémentaires dès apparition des premières fleurs. Elle correspond à la date où le cumul des comptages journaliers est égal au nombre de plants sur ces lignes.

La date moyenne d'apparition de la dernière fleur utile a été relevée (DDFU), ainsi que la date moyenne d'apparition de la dernière fleur en 1<sup>ère</sup> position des branches fructifères ayant donné une capsule récoltable (DDFP1).

La date moyenne d'ouverture de la première capsule (OPCM) a été déterminée par comptage quotidien du nombre de capsules ouvertes sur les lignes centrales des parcelles élémentaires dès l'ouverture des premières capsules. Elle correspond à la date où le nombre de capsules ouvertes dénombrées est égal au nombre de plants présents sur les lignes centrales de ces parcelles élémentaires.

La précocité de production de coton graine (R1/RT) a été également calculée à l'échelle de la parcelle. Une première récolte a été effectuée sur les parcelles élémentaires à 120 jours après semis ; une deuxième récolte a été réalisée sur ces mêmes parcelles lorsque toutes les capsules sont ouvertes. La précocité de production de coton graine (R1/RT) a été calculée comme le rapport (en pourcentage) du poids de coton graine récolté à 120 jours après semis sur le poids total de coton graine issu des deux récoltes.

La date de la dernière fleur utile (DDFU) désigne la date d'apparition de la dernière fleur ayant donné une capsule. Nous considérons que la DDFU est une estimation fiable de la fin de végétation du cotonnier. Elle constitue ainsi la référence pour évaluer la qualité des autres estimateurs.

La date de la dernière fleur en première position de branche fructifère ayant évolué en capsules (DDFP1) estime la date de fin de floraison utile. Elle a été estimée comme proposée par Sêkloka *et al.*, (in review). La pertinence de ce critère et la méthode utilisée pour son estimation sont présentées au chapitre 3. Cet indicateur nous a permis de calculer les temps de floraisons utiles de nos variétés (TFU). Ces variables sont récapitulées dans le tableau 2-5.

Le temps de floraison utile (TFU) a été calculé comme la différence entre la date de la dernière fleur utile (estimée par DDFP1) et la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) :  $TFU = DDFP1 - PFM$ . Calculé en nombre de jours, le TFU indique le temps pendant lequel les fleurs qui apparaissent sont susceptibles d'évoluer en capsules.

### **c- Répartition de la production capsulaire à l'échelle de la plante**

Les données de « plant mapping » ont permis de dénombrer par plant les sites sur branches fructifères (SBF) et sur branches végétatives (SBV). Le nombre total de sites par plant (SPP) a été ensuite calculé comme la somme des nombres de sites sur branches fructifères et végétatives:  $SPP = SBF + SBV$ .

**Tableau 2-6 : Variables utilisées pour décrire la répartition capsulaire**

<b>Abrégé</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
<b>SPP</b>	Nombre de sites par plant	
<b>RG</b>	Taux de rétention globale	%
<b>RP1</b>	Taux de rétention en première position de BF	%
<b>CPP</b>	Nombre de capsules par plant	
<b>PMC</b>	Poids moyen capsulaire	g
<b>%CBV</b>	Pourcentage de capsules sur BV	%
<b>%CBF1 7</b>	Pourcentage de capsules sur BF	%

*BV=branche végétative; BF=branche fructifère*



De la même manière, nous avons pu dénombrer par plant les capsules sur branches fructifères (CBF), les capsules sur branches végétatives (CBV) et le nombre total de capsules par plant (CPP) :  $CPP = CBF + CBV$ .

Généralement en nombre faible par rapport au nombre des branches fructifères, les branches végétatives apportent une contribution non négligeable à la production des variétés les plus souvent cultivées en Afrique. La prise en compte de cette contribution nous a paru nécessaire : le critère utilisé à cet effet était le Pourcentage de capsules sur branches végétatives (%CBV).

L'essentiel de la production capsulaire chez le cotonnier est produit par les branches fructifères. Toutefois, des études ont montré que toutes les branches fructifères ne contribuent pas équitablement à cette production (Jenkins *et al.*, 1990b; Constable, 1991; Zhao *et al.*, 2005). Afin d'identifier les régions de la plante qui contribuent le plus à la production dans les différentes conditions étudiées nous avons étudié par date de semis et ensuite par densité, le pourcentage de capsules récoltables à chaque position de chaque branches fructifères. Nous en avons alors retenu le pourcentage de capsules sur les 7 premières branches fructifères (%CBF1-7) comme variable synthétique caractérisant la concentration de la production dans les parties basses de la plante (Tableau 2-6).

Les taux de rétention désignent les pourcentages de sites fructifères ayant évolué en capsules récoltables. Ils sont calculés comme le rapport du nombre de capsules au nombre de sites fructifères:

**Taux de rétention** =  $(100 * \text{nombre de capsules}) / \text{nombre de sites}$ . Ainsi, le taux de rétention global peut se définir par l'équation :  $RG = 100 * CPP / SPP$ . Le taux de rétention en P1 était  $RP1 = 100 * CP1 / SP1$ , avec CP1 désignant le nombre de capsules en première position de branche fructifère et SP1, le nombre de sites fructifères dénombrés en première position de branche fructifère

**Pourcentage de capsules** =  $(100 * \text{nombre de capsules dans la partie concernée de la plante}) / \text{nombre total de capsules du plant}$ . Les « pourcentages de capsules » représentent la proportion de capsules dans une région donnée de la plante par rapport au nombre total de capsules produit par la plante. Il caractérise la contribution de cette partie de la plante à la production.

Le poids moyen capsulaire (PMC) a été obtenu comme décrit par Hau and Goebel (1987). Après ouverture complète des capsules, cinq plants ont été choisis dans les bordures des parcelles élémentaires. Sur chacun de ces plants, nous avons récolté 3 capsules respectivement en position basse, en position médiane et en position haute (Hau and Goebel, 1987). Le poids moyen de coton graine (PMC) a été calculé par parcelle en divisant le poids total de coton graine ainsi récolté sur les cinq plants par le nombre de capsules.

## 2.2- METHODES D'ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

### 2.2.1- ANALYSE STATISTIQUE

Le dispositif expérimental, en parcelles sub-divisées (split split plot), était répliqué en 2 lieux x 2 années. Les variables étudiées étant quantitatives continues, nous supposons qu'elles suivent un modèle classique d'analyse de variance :

$$\begin{aligned} Y_{ijklmr} &= \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + \lambda_m \text{ (effets simples)} \\ &+ \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \alpha\delta_{il} + \alpha\lambda_{im} + \beta\gamma_{jk} + \beta\delta_{kl} + \beta\lambda_{jm} + \gamma\delta_{kl} + \gamma\lambda_{km} + \delta\lambda_{lm} \text{ (effets d'interactions doubles)} \\ &+ \alpha\beta\gamma_{ijk} + \dots \text{ (effets d'interactions entre 3, 4 et les 5 facteurs)} \\ &+ e_{ijk} + e_{ijkl} + e_{ijklmr} \text{ (erreurs)} \end{aligned}$$

Avec  $i$  = année,  $j$  = lieu,  $k$  = date de semis,  $l$  = densité,  $m$  = variété,  $e_{ijk}$  = erreur grande parcelle,  $e_{ijkl}$  = erreur moyennes parcelles et  $e_{ijklmr}$  = erreur petites parcelles.

Les principaux facteurs étudiés, date de semis, densité et variété ont été considérés comme à effets fixes. Les effets années et lieux ont également été considérés comme fixes, parce qu'avec 2 années et 2 lieux les estimations de variance d'effets et interactions aléatoires auraient été à notre avis trop imprécises. Avec ces effets fixes, les intervalles de confiance et les tests de comparaisons entre objets sont calculés pour la moyenne des 4 essais réalisés, et non pour la moyenne de la population de lieux et d'années qu'ils pourraient représenter. En l'absence d'interaction avec les facteurs année ou lieu, cela n'a pas d'importance. Lorsque qu'au contraire de telles interactions sont significatives, les moyennes des principaux facteurs sont d'abord discutées par essai avant de tirer si possible des conclusions sur les effets principaux. Toutefois, lorsque le niveau de signification de l'effet variété était supérieur aux niveaux de signification des effets d'interaction avec la variété, ce qui a souvent été le cas pour la plupart des critères étudiés (voir tableaux annexes), nous présentons les moyennes par variété, comme suggéré par Cochran and Cox (1957) afin de discuter des effets génétiques.

Les données exprimées en pourcentage ont été soumises à une transformation par « racine carrée arc sinus » avant d'être analysées ; les valeurs réelles ont été reportées dans les tableaux et sur les figures, mais les statistiques proviennent des valeurs transformées.

Pour prendre en compte convenablement l'impact des 3 erreurs expérimentales (grande, moyenne et petite parcelle) sur les précisions des comparaisons entre objets, nous avons utilisé la procédure Mixed du logiciel Sas (SAS-Institute, 1988).



La méthode de comparaison multiple des moyennes utilisée est le test de (Tukey-Kramer, 1956), et les seuils de signification de ce test sont figurés sous la forme : \*, \*\*, \*\*\* correspondant aux seuils de probabilité à  $p=0,05$  ;  $p=0,01$  ; et  $p=0,001$  ; et ns pour l'absence de différences significatives. Les intervalles de confiance et les plus petites différences significatives (LSD) sont toujours donnés au seuil de probabilité de 5% au plus.

## **2.2.2- ETUDE DE REGULARITE DE PERFORMANCE**

Pour décrire la régularité de performance et la rusticité des variétés, nous avons classé leur performance en rendement dans chacune des 24 situations expérimentales (2 dates de semis x 3 densités x 2 années x 2 lieux) par rapport à la production de la meilleure variété dans la situation considérée.

Dans chaque situation, une variété se classe dans une des trois classes suivantes : 90 à 100% du meilleur rendement, de 75 à 90%, et inférieure à 75%.

Nous avons considéré la performance moyenne sur l'ensemble des trois répétitions de l'essai. Chaque variété est ainsi classée 12 fois en semis tardif et 12 fois en semis précoce et 8 fois à chaque niveau de densité. La répartition de ses performances entre classes permet de décrire sa régularité et de préciser les conditions dans lesquelles elle est mieux à même d'exprimer son potentiel de rendement.

## **2.2.3- IDENTIFICATION DES VARIABLES EXPLICATIVES DU RENDEMENT**

Pour déterminer le rendement, les lignes centrales des parcelles élémentaires ont été récoltées. Le rendement en coton graine à l'hectare a été calculé à partir du poids total de coton graine et de la surface des parcelles récoltées.

La méthode utilisée pour l'identification des critères explicatifs du rendement a consisté à décrire dans un premier temps les différentes stratégies de mise en place de production chez les variétés étudiées. Cette première étape nous a permis de regrouper les variétés suivant les stratégies de mise en place de la production. Dans une deuxième étape nous avons sélectionné les variables simples à observer dont la combinaison discriminait bien les stratégies productives mises en évidence par l'analyse du rendement et la description précédente. Cette deuxième étape nous a ainsi permis de traduire les stratégies performantes en critère de sélection simples à utiliser.

Nous avons ensuite procédé à l'estimation de l'héritabilité des critères ainsi identifiés. Afin d'étudier la possibilité de prédire le comportement de ces critères à forte densité en semis retardé à partir d'observations faites à densité et à date normale de semis, nous avons établi les régressions entre les deux itinéraires pour chacun de ces critères pertinents.

**Tableau 2-7 : Estimation des paramètres génétiques**

Source de variation	ddl	Carré moyen	Espérance des carrés moyens
Génotypes	m-1	M1	$\sigma^2_e + r \sigma^2_m$
Erreur	(m-1) (r-1)	M2	$\sigma^2_e$



## 2.3- METHODE D'ESTIMATION DE L'HERITABILITE DES CARACTERES

Sur les variables pertinentes pour expliquer le rendement, nous avons calculé les coefficients d'héritabilité au sens large, par itinéraire technique et par essai en utilisant le modèle linéaire général à effets aléatoires (Tableau 2-7). Les variances génétiques et phénotypiques ont alors été estimées comme proposé par Comstock and Robinson (1952).

Avec  $m$  désignant le nombre de génotypes,  $r$  le nombre de répétitions,  $M1$  le carré moyen génotype,  $M2$  le carré moyen erreur,  $\sigma_m^2$  la variance inter génotype et  $\sigma_e^2$  la variance erreur (Tableau 2-7), on déduit :

$$\sigma_g^2 = \sigma_m^2 = (M1 - \sigma_e^2) / r = (M1 - M2) / r, \sigma_g^2 \text{ étant la variance génétique}$$

$$\sigma_p^2 = \sigma_m^2 + \sigma_e^2 = [M1 + (r-1) M2] / r, \sigma_p^2 \text{ étant la variance phénotypique}$$

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 = (M1 - M2) / [M1 + (r-1) M2], h^2 \text{ l'héritabilité au sens large}$$

Pour certaines variables dont nous disposons des mesures par plant, les héritabilités ont été calculées à deux niveaux d'échelle : celui correspondant au plant individuel et celui de l'ensemble des 5 plants faisant partie de la même parcelle.

Nous avons ensuite estimé les intervalles de confiance des coefficients d'héritabilité par la méthode de Wald décrite par Agresti & Coull (1998).

---

## 3- RESULTATS

---

### 3.1- METHODE SIMPLIFIEE POUR ESTIMER LA DATE DE FIN DE CROISSANCE VEGETATIVE (CUTOUT) CHEZ LE COTONNIER GOSSYPIUM HIRSUTUM L. EN CULTURE PLUVIALE

Ce chapitre a fait l'objet d'un article soumis à la revue « *Experimental agriculture* » sous le titre « A simple method for estimating the cutout date in Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) »

#### 3.1.1- INTRODUCTION

Connaître précisément la chronologie de développement d'une variété de cotonnier *Gossypium hirsutum* L. permet au sélectionneur de mieux déterminer son domaine d'utilisation et sa capacité d'adaptation aux contraintes de climat ou de système cultural. En culture pluviale, cette caractérisation est d'autant plus nécessaire que les variétés en vulgarisation doivent avoir un cycle de développement calé par rapport à la longueur espérée de la saison des pluies et à la date de semis recommandée.

Entre les dates de levée et de la fin de l'ouverture des capsules, les deux étapes marquantes du développement physiologique de la plante sont les dates de début de la phase fructifère et la fin de la phase végétative. Pour caractériser le début de la phase fructifère, la date d'apparition de la première fleur est un indicateur couramment utilisé. Cet indicateur est facile à observer avec précision même s'il ne correspond pas vraiment au début de cette phase, qui physiologiquement démarre au moment de l'initiation du premier bouton floral, ce dernier évènement étant plus difficile à repérer.

Pour déterminer la date de fin de croissance végétative (Cutout), nous ne disposons d'aucun évènement facilement repérable. Pour estimer le Cutout, Bourland *et al.*, (1992) en conditions de culture irriguée avec utilisation de régulateurs de croissance, établissent que la plante a atteint son Cutout lorsque le NAWF est égal à 5. Mais ce paramètre, établi en condition optimale de culture, n'est pas utilisable en Afrique, en conditions de culture pluviale, sans régulateurs de croissance, où la plante ne parvient parfois pas à atteindre cette valeur de 5.

Dans cette partie, nous proposons une méthode permettant d'évaluer la date de fin de croissance végétative en condition de culture pluviale, en estimant la date d'apparition de la plus haute capsule en première position de branche fructifère. Nous proposerons une méthode d'estimation de ce paramètre et montrerons que son héritabilité est



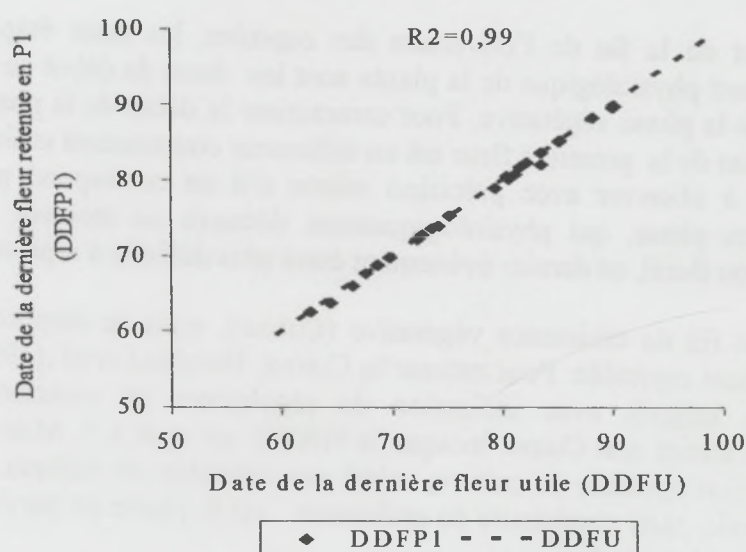
**Tableau 3-1 : NAWF correspondant aux dates de dernière fleur utile (DDFU) dans les situations testées**

Variété	2002		LSD	2003		LSD
	Juin	Retardé		Juin	Retardé	
Chaco 520	5,0	5,3		4,3	5,3	
Irma A 1042	4,3	5,7		4,4	5,3	
Mar 88-214	4,8	6,0	0,5	4,5	5,7	0,6
Oultan	4,4	6,0		4,9	6,2	
S 188	4,4	5,5		5,0	5,4	
Stam 18 A	4,2	5,8		5,0	5,8	
LSD	0,7	0,7		0,6	0,6	
F date x variété	*			*		

\*: différences significatives au seuil de 5%

**Tableau 3-2 : Nombre des plants ayant leur dernière capsule en première position (P1) de branche fructifère (BF) rapporté au nombre total de plants observés**

Variété	2002		2003		Total
	Juin	Retardé	Juin	Retardé	
Chaco 520	8/9	10/10	10/10	10/10	38/39
Irma A 1042	10/10	10/10	8/10	9/10	37/40
Mar 88-214	8/9	9/10	8/10	9/10	34/39
Oultan	10/10	10/10	9/10	9/10	38/40
S 188	10/10	9/10	9/10	8/10	36/40
Stam 18 A	10/10	10/10	8/10	9/10	37/40
Ensemble	56/58	58/60	52/60	54/60	220/238



**Figure 3-1 : Relation entre la date de la dernière fleur utile (DDFU) et la date de la dernière fleur retenue en première position de branche fructifère (DDFP1)**

suffisamment élevée pour qu'il soit utilisé pour l'amélioration génétique du cotonnier. Cette mise au point méthodologique a été réalisée à partir d'un échantillon de six variétés sur les dix que nous avons expérimentées

### 3.1.2- OBSERVATION DU NAWF EN FIN DE VEGETATION (DDFU)

Dans les quatre essais, nous avons déterminé le NAWF correspondant à la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFU), date qui correspond à l'arrêt effectif de la mise en place des capsules et peut être assimilée à la date d'arrêt de la croissance végétative. Il apparaît que le NAWF de la DDFU est compris entre 4 et 5 en semis de juin, 5 et 6 en semis de juillet (Tableau 3-1). On note que la date du NAWF = 5 proposé par Bourland *et al.* (1992) comme un indicateur de Cutout ne correspond à la date effective de fin de floraison utile qu'en de rares occasions (Chaco 520 en semis de juin 2002, S188 et STAM 18A en semis de juin 2003). Dans toutes les autres situations, ce critère surévalue (en semis de juin) ou sous évalue (en semis retardé), la date exacte d'arrêt de la mise en place des capsules. Cette observation nous conduit à abandonner l'indicateur NAWF=5 pour estimer la date de Cutout.

### 3.1.3- ESTIMATION DE LA DATE DE FIN DE VEGETATION A PARTIR DE LA DATE D'APPARITION DE LA DERNIERE FLEUR DONNANT UNE CAPSULE EN POSITION 1 (DDFP1)

La date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFU) peut être considérée comme le signal de l'arrêt de la croissance végétative. Nous avons observé que, dans chacune des situations étudiées, plus de 80% des plants (8 plants sur 10) ont produit leur dernière capsule sur la première position (P1) d'une branche fructifère (Tableau 3-2). Dans l'ensemble des 4 essais, seulement 18 plantes sur 238, soit moins de 8%, n'ont pas produit leur dernière fleur utile en P1.

La figure 3-1 montre bien que DDFP1 et DDFU sont très étroitement corrélées ( $R^2=0,99$ ), la DDFU se déduisant directement de la DDFP1 puisque la droite de régression est confondue avec la bissectrice. Cette observation nous conduit à proposer le critère DDFP1 comme estimateur de la date de Cutout.



**Tableau 3-3 : DDFP1 moyenne par variété et par essai (en nombre de jours après la levée)**

Variété	2002		2003		moyenne
	Juin	Retardé	Juin	Retardé	
Chaco 520	71,7	69,3	87,6	79,5	77,0
Irma A1042	81,8	77,1	91,1	86,4	84,1
Mar 88-214	65,3	68,3	80,6	74,5	72,2
Oultan	72,9	72,0	87,2	77,0	77,3
S 188	79,9	76,8	90,6	80,0	81,8
Stam 18A	86,2	77,2	91,5	82,6	84,4
LSD	8,3	8,3	5,5	5,5	7,0
Ft date * variété	ns		ns		

ns: non significatif au seuil de 5%

**Tableau 3-4 : Coefficients d'héritabilité de la DDFP1**

	2002		2003	
	Juin	Retardé	Juin	Retardé
Niveau plant	0,48 *	0,19 ns	0,40 *	0,35 ns
Niveau parcelle	0,67 **	0,55 ns	0,78 **	0,53 ns

\*, \*\* coefficient d'héritabilité significativement différents de zéro au seuil de 5% et 1% respectivement.

**Tableau 3-5 : Coefficients de corrélation de la DDFP1 avec les variables de précocité**

R1/RT=poids de la première récolte exprimé en % par rapport au poids de la récolte totale,  
PFM=date moyenne d'apparition de la première fleur, OPCM=date moyenne d'ouverture de la  
première capsule, NPBF=nœud d'insertion de la première branche fructifère

	2002		2003	
	Juin	Retardé	Juin	Retardé
R1/RT	-0,89 *	-0,79	-0,98 **	-0,81 *
PFM	0,91 *	0,83 *	0,82 *	0,74
OPCM	0,97 **	0,86 *	0,89 *	0,80
NPBF	0,71	0,78	0,89 *	0,45

\*, \*\* coefficient de corrélation significativement différents de zéro au seuil de 5% et 1% respectivement

### **3.1.4- ETUDE DE LA DATE D'APPARITION DE LA DERNIERE FLEUR DONNANT UNE CAPSULE EN POSITION 1 DES BRANCHES FRUCTIFERES (DDFP1)**

#### **a- Effet génétique et héritabilité**

Le critère DDFP1 fournit une estimation de la date de Cutout qui discrimine bien les variétés L'analyse de la variance de DDFP1 montre que le facteur variétal est largement significatif ( $p < 0,01$ ) et qu'il n'interagit pas avec la date de semis ( $p = 0,3984$  en 2002 et  $0,6753$  en 2003). Dans tous les essais, les variétés Stam 18 A et Irma A 1042 sont les plus tardives (85 jours environ) et Mar 88-214 est toujours la plus déterminée avec un arrêt végétatif à 72 jours environ. Les variétés Stam 18 A, Irma A 1042 et S 188 ont arrêté la mise en place des capsules 5 à 10 jours après les variétés plus précoces, Mar 88-214, Chaco 520 et Oultan (Tableau 3-3)..

Les coefficients d'héritabilité présentent des valeurs relativement élevées (Tableau 3-4), proches de celles habituellement obtenues avec des paramètres de cycle comme la date d'apparition de la première fleur ou la date d'ouverture de la première capsule (Lançon, 1994; Godoy and Palomo, 1999). Les résultats sont très stables d'une année à l'autre. En revanche, les héritabilités moyennes obtenues dans les dispositifs semés tôt ( $0,44$  au niveau plant) sont plus élevées que celles des semis retardés ( $0,27$ ).

#### **b- Corrélations avec les autres indicateurs de phénologie**

Le paramètre DDFP1 est bien corrélé, toutes variétés confondues, avec les autres descripteurs de précocité tels que le rapport de la première récolte à la récolte totale ( $R1/RT$ ), la date d'apparition de la première fleur (PFM), la date d'ouverture de la première capsule (OPCM) et le numéro de nœud de la première branche fructifère (NPBF) (Tableau 3-5).

Comme l'héritabilité, les corrélations sont plus fortes en semis de juin qu'en semis retardé. Elles tendent à montrer que les variétés qui fleurissent et produisent précocement sont également celles qui ont l'arrêt de végétation le plus précoce.

#### **c- Estimation simplifiée et indirecte de DDFP1**

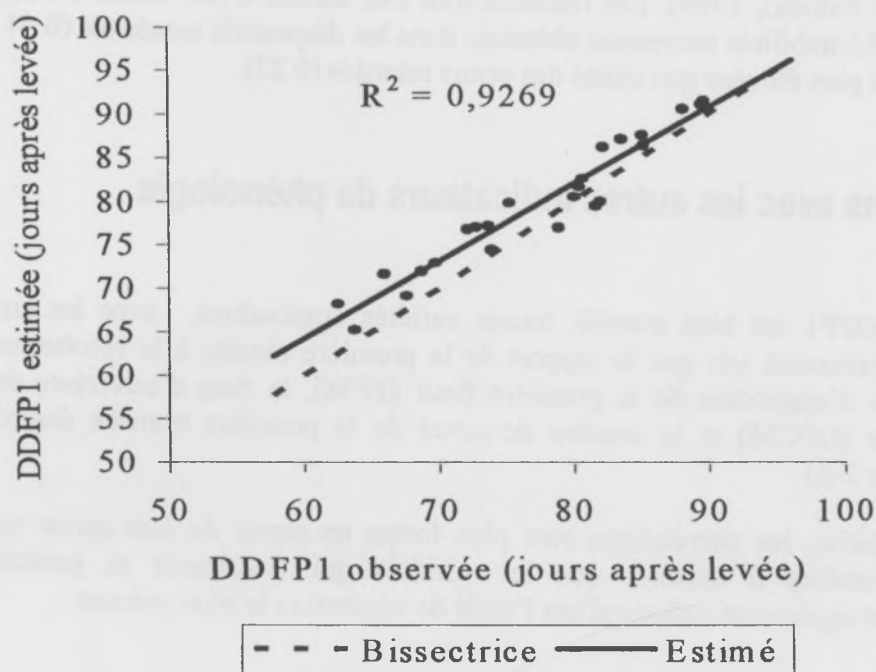
La DDFP1 n'est pas aisée à observer directement. Pour l'établir avec précision, il faudrait être capable de noter les dates d'apparition de tous les boutons floraux apparaissant en fin de cycle et les mettre en relation avec les capsules effectivement récoltées sur ces positions. Une telle observation serait coûteuse à réaliser en temps et en main d'oeuvre. Nous proposons donc une méthode simplifiée qui peut être mise en



**Tableau 3-6 : Equations de régression du nombre de nœud fructifère en fonction du nombre de jours après levée**

Variété	2002						2003					
	Juin			Juillet			Juin			Juillet		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Chaco 520	0,23	-10,48	0,92	0,24	-11,29	0,85	0,24	-12,41	0,94	0,25	-13,73	0,96
Irma A 1042	0,24	-11,66	0,94	0,24	-11,78	0,92	0,23	-12,79	0,95	0,26	-15,30	0,96
Mar 88-214	0,24	-10,38	0,89	0,25	-11,44	0,85	0,26	-13,33	0,94	0,27	-14,24	0,95
Oultan	0,24	-10,75	0,95	0,24	-10,17	0,84	0,25	-11,94	0,94	0,28	-14,34	0,93
S 188	0,23	-10,92	0,89	0,24	-11,90	0,86	0,26	-14,19	0,95	0,27	-15,82	0,95
Stam 18 A	0,22	-10,36	0,89	0,24	-11,70	0,88	0,24	-13,11	0,96	0,26	-14,32	0,95

*a*=pente de la droite de regression linéaire, *b*=l'ordonnée à l'origine et *R*<sup>2</sup> désigne le coefficient de détermination



**Figure 3-2 : Date de la dernière fleur retenue en première position de branche fructifère (DDFP1) : comparaison des valeurs estimées aux valeurs observées.**

œuvre à partir d'une observation de la floraison limitée aux premières positions de quelques branches fructifères.

Nous savons que la floraison du cotonnier se propage simultanément le long de la tige principale et le long des branches fructifères, à une vitesse variable suivant les génotypes et les conditions climatiques. Mauney (1986) rapporte qu'à 30°C, l'intervalle vertical de floraison (le temps s'écoulant entre deux floraisons sur la même position de deux branches fructifères consécutives) varie entre 2.2 et 4.0 jours suivant les variétés et en cours de cycle. Mais au plus fort de la floraison, cet intervalle peut néanmoins être considéré comme constant. Nous avons donc fait l'hypothèse que la progression de la floraison en P1 le long de la tige principale peut être modélisée sous la forme d'une équation linéaire :

$Y = aX + b$  avec  $x$ , la date d'apparition d'une fleur en position 1, et  $y$  le numéro de nœud de la branche fructifère correspondante.

Les paramètres de cette équation peuvent être estimés à partir d'observations bien réparties pendant la phase de floraison (Tableau 3-6).

En connaissant le numéro de nœud de la dernière branche fructifère portant une capsule en position 1, on peut utiliser la fonction inverse pour déterminer la date à laquelle la fleur correspondante est apparue et obtenir ainsi une estimation de DDFP1. La figure 3-2 confronte la valeur estimée par cette méthode avec la valeur tirée de l'observation directe de la floraison des P1.

Valeurs observées et valeurs estimées sont très étroitement corrélées ( $R^2 = 0.93^{**}$ ). La méthode d'estimation est donc globalement satisfaisante. Les valeurs estimées sont très proches de la bissectrice. Elles le sont d'autant plus que les durées de cycle sont plus longues et plus proches du potentiel génétique. En revanche, lorsque les cycles sont raccourcis (variétés très précoces, semis retardé ou pluies insuffisantes), les valeurs calculées paraissent légèrement surestimées, atténuant ainsi un peu les écarts entre variétés précoces et tardives. L'écart n'est toutefois pas très important ni significatif ( $\chi^2 = 0.99$ , ddl=22).

### 3.1.5- CONCLUSION

La date d'apparition de la dernière fleur utile en Position 1 des branches fructifères (DDFP1) est un bon estimateur de la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFU), prise comme date de fin de végétation. La facilité de suivi de la dynamique de floraison le long de l'axe principal en fait un critère relativement simple à estimer. Au contraire de critères de précocité comme R1/RT ou OPCM critiqués par Bourland et *al.*, (1991), sa mesure est peu dépendante des conditions de fin de cycle. En fin de campagne agricole au Bénin par exemple, des vents secs dits « Harmattan » diminuent le taux d'humidité de l'air et la sécheresse atmosphérique induite déclenche l'ouverture précoce des capsules, faussant l'appréciation de la précocité si l'on utilise le rapport R1/RT.



DDFP1 est bien corrélé aux autres critères de précocité (R1/RT, OPCM, PFM, NPBF) sans toutefois leur être strictement équivalent. Utilisé en complément de la date de floraison, il sert à évaluer la durée de floraison utile, phase pendant laquelle la plante conserve sa capacité à produire des fleurs qui ont une chance de se transformer en capsules.

Son héritabilité est élevée, plus particulièrement en semis précoce, aussi bien au niveau parcelle qu'au niveau plant. Dans les programmes de sélection où longueur de cycle et précocité sont des critères importants, DDFP1 peut être utilisé dans les tests de criblage de lignées et afin de prédire le potentiel génétique de variétés par rapport à des conditions locales de culture. Ce critère sera estimé, de préférence, dans des essais semés précocement car les différences génétiques peuvent davantage s'y révéler. Son utilisation ne pourra toutefois pas être étendue à la sélection de plantes individuelles à grande échelle, car les coûts de mise en œuvre seraient prohibitifs.

**Tableau 3-7 : Effet significatif du retard de semis et de la haute densité de culture sur la date d'apparition de première fleur (PFM, en nombre de jours après levée)**

Date de semis	Densité (plantes/ha)			Moyenne	LSD
	42000	125000	167000		
<b>Juin</b>	57,0	57,5	59,1	57,9	1,3
<b>Retardé</b>	59,2	61,3	62,4	61,0	1,3
<b>Moyenne</b>	58,1	59,4	60,7	59,4	0,9
<b>LSD</b>	1,0	1,0	1,0	1,9	
<b>F date*densité</b>	ns				

LSD: plus petite différence significative (ppds)

ns: différences non significatives au seuil de 5%



## 3.2- CARACTERES DE MORPHOGENESE ET RENDEMENT EN COTON GRAINE: EFFETS DU MILIEU ET ETUDES GENETIQUES

### 3.2.1- DUREE DE FLORAISON

Ce chapitre a fait l'objet d'un article soumis à la revue *Experimental agriculture* sous le titre « Effective flowering time variations in Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at different planting dates and stand densities in Benin »

#### a- Introduction

Dans cette partie, notre objectif est de caractériser plus précisément le temps de floraison utile de nos variétés. Pour cela, nous avons besoin des dates de début et de fin de floraison. Mais le cotonnier étant une plante à croissance continue, les phases fructifères et végétatives se chevauchent. S'il est facile de repérer la date d'entrée en floraison en assimilant à la date d'ouverture de la première fleur, il n'existe par contre aucun évènement facilement observable auquel on pouvait relié la date de fin de floraison utile ou « cutout ».

Dans le chapitre précédent nous avons montré, que la valeur 5 pour NAWF proposée par Bourland *et al.* (1992) pour calculer la date de cutout, s'est avérée inadaptée en culture pluviale et sans utilisation de régulateur de croissance. Dans cette étude, nous lui avons alors préféré la date d'apparition de la dernière fleur donnant une capsule en position 1 des branches fructifères (DDFP1) qui constitue une meilleur estimation de cette date en culture pluviale (Sékloka *et al.*, in review). La prise en compte du temps de floraison utile de la variété s'est révélée très intéressante pour choisir des variétés en fonction des contraintes pluviométriques locales.

#### b- Effet de la date de semis et de la densité sur la floraison

Les premières fleurs sont apparues plus tardivement lorsque les semis ont été retardés et réalisés à hautes densités (tableau 3-7). Les premières fleurs sont apparues plus tôt pour les essais semés en juin et à 42 000 plants/ha. Ces écarts de date d'apparition de première fleur ont été hautement significatifs autant entre date de semis ( $p < 0.01$ ) qu'entre densités ( $p < 0.0001$ ).

**Tableau 3-8 : Effets des dates de semis et des densités de culture sur la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1, exprimée en jours après levée)**

Date de semis	Okpara			Cana			LSD
	42000	125000	167000	42000	125000	167000	
<b>Juin 2002</b>	81,6	77,2	77,6	-	-	-	5,1
<b>Retardé 2002</b>	80,0	75,5	73,1	88,1	90,4	87,4	5,1
<b>Juin 2003</b>	90,0	88,0	85,6	86,3	88,7	87,2	5,1
<b>Retardé 2003</b>	82,0	77,7	77,8	81,0	77,1	76,9	5,1
<b>LSD</b>	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	

**F année\*lieu\*date\*densité**

**\*\***

42000, 125000 et 167000 désignent les densités en nombre de plantes par ha. LSD: plus petite différence significative (ppds). \*\*: significatif au seuil de 5%

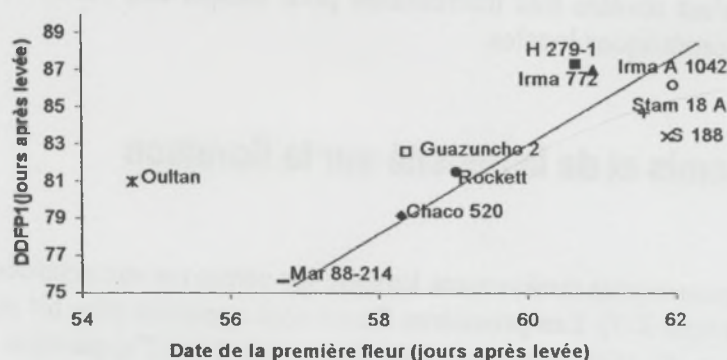
**Tableau 3-9 : Effet significatif du retard de semis et de la haute densité de culture sur le temps de floraison utile (TFU, exprimé en jours)**

Date de semis	Okpara			Cana			LSD
	42000	125000	167000	42000	125000	167000	
<b>Juin 2002</b>	29,8	25,8	22,6	-	-	-	5,0
<b>Retardé 2002</b>	19,7	13,7	12,2	21,7	14,6	13,4	5,0
<b>Juin 2003</b>	25,8	21,4	19,6	34,9	24,7	22,6	5,0
<b>Retardé 2003</b>	23,0	17,7	14,1	30,0	29,5	25,9	5,0
<b>LSD</b>	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	

**F année\*lieu\*date\*densité**

**\*\***

42000, 125000 et 167000 désignent les densités en nombre de plantes par ha. LSD: plus petite différence significative (ppds). \*\*: significatif au seuil de 5%



**Figure 3-3 : Variabilité génétique pour la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) et pour la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1).**



L'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1) a en revanche été accélérée dans le cas des semis retardés (tableau 3-8). Cet effet a été significatif pour les deux sites en 2003. Les hautes densités de culture ont eu le même effet d'accélération de la croissance, mais les différences n'ont pas toujours été significatives. Le calcul statistique a révélé une interaction année\*lieu\*date de semis\*densité hautement significative ( $p < 0.01$ ) sur l'ensemble des sites et des essais. Cette interaction pourrait s'expliquer par l'absence de différences significatives entre dates de semis à Okpara en 2002 (à toutes les densités) et à Cana (à 42 000 pieds/hectare).

Le temps de floraison utile (TFU : « boll period ») a tendance à être raccourci par le semis tardif et les fortes densités (tableau 3-9). Globalement, le temps de floraison utile a varié en moyenne de 12.2 à 34.9 jours selon les densités et les dates de semis. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues pour les essais en faible densité (42 000 plants/ha) semés en juin. Les écarts entre les dates de semis ont été significatifs en 2002 et mais pas en 2003. Le niveau hautement significatif ( $p < 0.01$ ) des interactions année \* lieu \* date de semis \* densité pourrait s'expliquer par la variation d'amplitude des écarts à Okpara, et une absence de différences significatives en 2003.

## c- Variabilité génétique des indicateurs de floraison

### i. *Début et fin de floraison (PFM et DDFP1)*

Les dix variétés testées ont montré une grande variabilité pour la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) et pour la date d'apparition de la dernière fleur utile (DDFP1) (figure 3-3). Quatre groupes de comportement ont été observés :

- Mar 88-214 a débuté et a terminé précocement sa floraison,
- Irma A 1042, Irma 772, Stam 18 A, H 279-1, et S 188 ont débuté tardivement leur floraison et l'ont terminé plus tard,
- Guazuncho 2, Chaco 520, et Rockett ont eu un comportement intermédiaire entre les précédents groupes,
- Oultan a débuté précocement sa floraison et l'a terminé assez tard.

Les analyses de variance ont montré que les effets génétiques étaient plus significatifs que les effets d'interaction. Cette supériorité du niveau de signification des effets génétiques par rapport aux effets d'interaction nous ont autorisés à présenter les moyennes par variété (figure 3-3) comme proposé par Cochran and Cox (1957). En effet, pour la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM), la valeur du test F de l'effet d'interaction année \* lieu \* variété a été de 2,17 ; celle de l'interaction année \* date de semis \* variété a été de 3,42 ; ces deux valeurs étaient toutes inférieures à la valeur du test F de l'effet variété qui était de 109,75. Pour DDFP1, seule l'interaction année \* variété a été significative, avec une valeur de F de 2,35 contre 17,96 pour celle de la variété.

Tableau 3-10 : Effets de la variété sur le temps de floraison utile (TFU, exprimé en jours)

Variétés	Moyenne	Saison		LSD
		2002	2003	
Chaco 520	20,1	21,8	18,4	4,8
Guazuncho 2	24,0	25,9	22,1	
H 279-1	26,3	27,2	25,4	
Irma 772	25,8	25,3	26,4	
Irma A 1042	25,0	23,8	26,2	
Mar 88-214	18,5	21,2	15,8	
Oultan	24,3	26,5	22,1	
Rockett	22,4	23,4	21,5	
S 188	21,3	22,5	20,1	
Stam 18 A	22,8	24,2	21,4	
Moyenne	23,0	24,2	21,9	
LSD	2,5	3,4	3,5	
CV (%)	11,0	8,4	15,6	
F <sup>(1)</sup>	**	*		

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés (colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction année \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

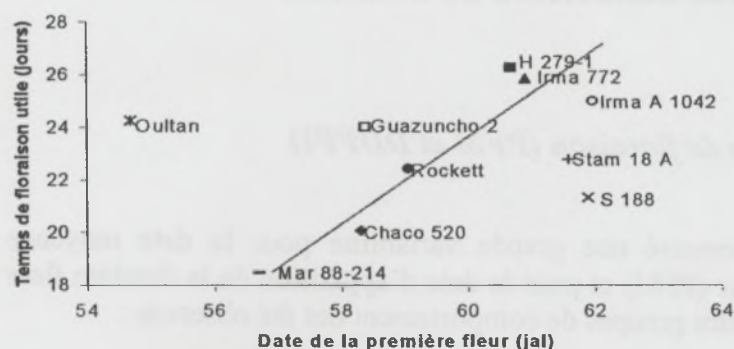


Figure 3-4 : Variabilité du temps de floraison utile en fonction de la date de la première fleur



ii.

### *Temps de floraison utile (TFU : boll period)*

Les temps de floraison utile ont été très différents d'une variété à l'autre. Ils ont atteint en moyenne 26 jours pour la variété commerciale du Bénin H 279-1 et seulement 18 jours pour Mar 88-214 (tableau 3-10). Les temps de floraison utile ont été significativement plus courts pour Mar 88-214, Chaco 520, S188, et Rockett. Pour toutes les variétés, excepté Mar 88-214, le temps de floraison utile n'a pas significativement varié entre 2002 et 2003. Le comportement de Mar 88-214 explique une interaction année \* variété qui s'est révélée significative. Mais le niveau de signification de l'effet variété a été plus élevé (test  $F=8,02$  pour la variété contre 2,12 pour l'interaction).

La figure 3-4, qui croise la date moyenne d'apparition de la première fleur (c'est-à-dire la précocité de floraison) et la durée de floraison, suggère trois nouveaux groupes de comportement, qui ne recoupent pas totalement les quatre groupes obtenus en croisant les variables de début et fin de floraison :

- Mar 88-214, Chaco 520, Rockett, Guazuncho 2, H 279-1, Irma A 1042, et Irma 772 définissent une droite de régression liant durée de floraison utile (DDFP1) à la précocité de floraison (PFM). Les variétés ayant fleuri plus tôt comme Mar 88-214 et Chaco 520 ont eu une courte durée de floraison, les variétés ayant fleuri plus tard comme IRMA A 1042, Irma 772, et H 279-1 ont eu une durée de floraison beaucoup plus longue. Les variétés Rockett et Guazuncho 2 ont eu un comportement intermédiaire;
- Stam 18 A et S 188 ont eu une durée de floraison plus courte par rapport à leur précocité de floraison ;
- Oultan a concilié une grande précocité de floraison et une longue durée de floraison utile.

## **d- Conclusions**

Nos résultats suggèrent que, finalement, plus on sème tard et dense, plus on raccourcit la période de floraison utile. En d'autres termes, les hautes densités en semis tardifs tendent à retarder l'apparition de la première fleur et à accélérer l'apparition de la dernière fleur qui donnera une capsule récoltable.

Le temps de floraison utile est largement sous contrôle génétique et il n'est pas strictement lié à la précocité de floraison. Il discrimine des génotypes génétiquement proches comme H 279-1 et Stam 18 A, des variétés à précocité de floraison comparable comme Oultan et Mar 88-214, ou des variétés à durées de floraison utile comparables comme H 279-1 et Irma 772. Dans nos conditions pluviales du Bénin, les variétés à cycle court ne paraissent pas mieux adaptées aux semis retardés que les variétés conventionnelles africaines. Leur intérêt, qui était d'être capable de produire plus vite et en peu de temps, est diminué par le fait que le semis retardé réduit leur temps de floraison utile.

La prise en compte du temps de floraison utile de la variété est en revanche très intéressant pour choisir les variétés en fonction des contraintes pluviométriques locales et pour affiner les composantes de l'itinéraire technique. Nos résultats ont ainsi montré que la variété vulgarisée H279-1 possède une période de floraison utile plus longue que celle de la variété STAM 18A. Cette observation conforte a posteriori la nouvelle recommandation de vulgarisation de la variété H279-1 au Bénin, recommandation qui s'est appuyée sur des essais montrant la meilleure productivité du génotype H 279-1 par rapport à la variété STMA 18A issue du même croisement.

Du point de vue du sélectionneur, la variabilité intraspécifique du temps de floraison utile est suffisamment large pour être manipulable. Cette étude a montré que cet indicateur est relativement facile à utiliser et à mesurer, puisque sa détermination est fondée sur l'observation de la date d'apparition de la première fleur et sur l'évaluation de la date d'apparition de la dernière fleur utile.



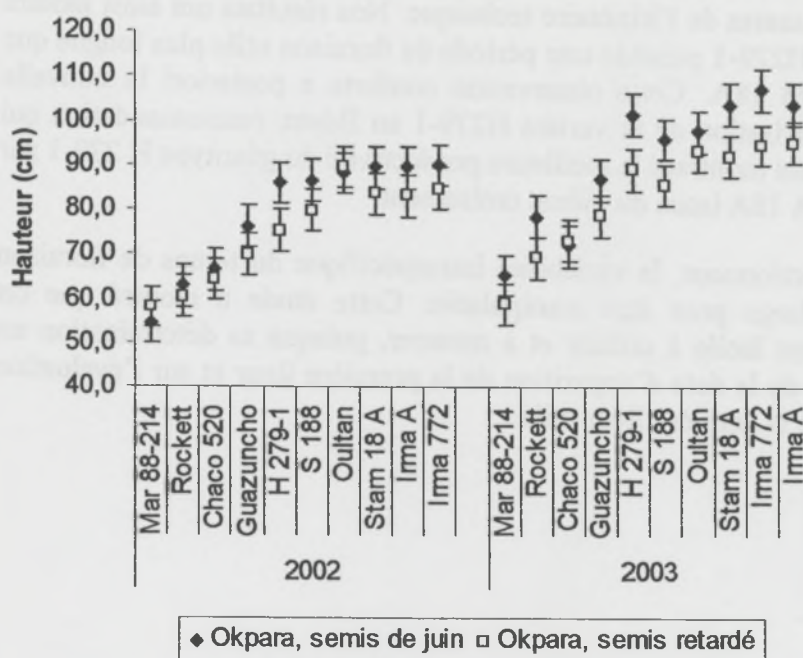


Figure 3-5 : Hauteur de la tige principale par variété et par date de semis à Okpara

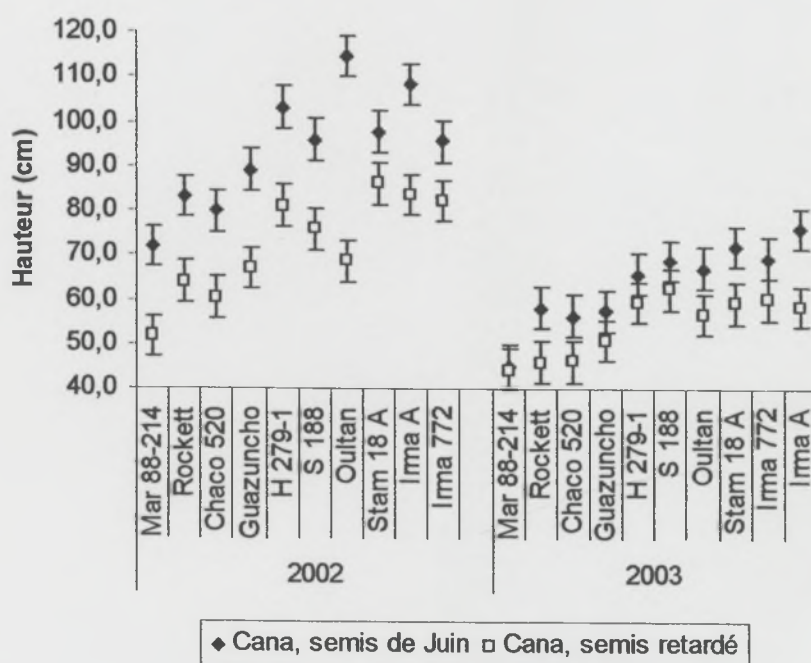


Figure 3-6 : Hauteur de la tige principale par variété et par date de semis à Cana

### 3.2.2- MORPHOLOGIE

#### a- Introduction

Le comportement des variétés africaines, tardives et à grand développement végétatif, dans d'autres conditions de culture et plus particulièrement en semis retardé n'est pas établi. On peut penser que des types variétaux moins indéterminés, plus compacts et plus précoces pourraient être avantageés dans des systèmes de culture favorisant une installation et une entrée en production rapide.

L'objectif de ce chapitre est de comparer les comportements morphologiques des variétés végétatives africaines à ceux des types variétaux plus déterminés dans des conditions d'itinéraires techniques différentes de celles qui sont recommandées.

#### b- Tailles des cotonniers (HT)

##### i. *Effet de la date de semis*

Les plants issus de semis tardif sont significativement ( $p=0,0001$ ) plus petits que ceux semés à bonne date. En moyenne, ils ont perdu une dizaine de cm entre le semis de juin (82 cm) et le semis retardé (71 cm).

L'analyse statistique montre toutefois une interaction significative entre année x lieu x date de semis x variété ( $p=0,0053$ ). Celle-ci ne remet pas en cause l'effet principal mais elle indique que suivant le lieu, l'année, la variété, l'effet général est plus ou moins nuancé. Des variations mineures mais néanmoins significatives s'expriment entre les essais. A Okpara, en 2002, les différences entre dates ne sont significatives pour aucune des variétés. En 2003, le semis tardif tend à réduire davantage la taille des variétés les plus grandes (S 188, H 279-1, Stam 18 A, Irma A 1042 et Irma 772) que celle des autres (Figure 3-5).

A Cana, en 2002, l'effet du retard de semis est très net sur toutes les variétés, la variété Oultan étant la plus affectée. En 2003, les écarts sont réduits, tant entre dates de semis qu'entre variétés (Figure 3-6)

##### ii. *Effet de la densité*

L'augmentation de la densité réduit significativement la taille des plants, et ceci quelle que soit la variété. Les différences entre les deux fortes densités (125 000 et 167 000 plantes par ha) correspondent aux effets attendus même si elles ne sont pas



**Tableau 3-11 : Taille moyenne des cotonniers par variété dans les différents itinéraires techniques**

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	64,8	68,6	61,0		74,7	60,1	59,6	
Guazuncho 2	71,9	77,3	66,5		83,7	66,8	65,3	
H 279-1	82,5	89,0	76,1		91,4	79,1	77,1	
Irma 772	86,8	92,7	80,8		102,6	82,6	75,2	
Irma A 1042	85,7	92,0	79,5	4,7	96,4	80,3	80,5	5,0
Mar 88-214	56,2	59,2	53,1		64,0	54,3	50,2	
Oultan	84,4	91,8	76,9		100,3	78,6	74,2	
Rockett	65,2	70,6	59,9		75,5	62,3	57,9	
S 188	81,2	86,7	75,8		91,9	77,4	74,5	
Stam 18 A	85,4	90,6	80,1		96,5	78,2	81,4	
Moyenne	76,4	81,8	71,0		87,7	72,0	69,6	
CV (%)	14,4	14,7	14,1		14,5	14,1	15,3	
LSD	2,5	3,5	3,5		4,3	4,3	4,3	
F <sup>(1)</sup>	**	*				**		

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés (colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

**Tableau 3-12 : Longueur moyenne des entrenoeuds de la tige principale (HNR) aux deux dates de semis (cm)**

Date de semis	Moyenne	Année		LSD
		2002	2003	
Juin	4,8	4,9	4,7	0,2
Retardé	4,5	4,4	4,6	0,2
LSD	0,1	0,2	0,2	
F <sup>(1)</sup>	**	*		

(1) : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction année date de semis (colonne année)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

**Tableau 3-13 : Longueur moyenne des entrenoeuds de la tige principale (HNR) aux trois densités de plantation (cm)**

Densité	Moyenne	Lieu		LSD
		Cana	Okpara	
42000	4,8	4,1	5,5	0,2
125000	4,6	3,7	5,4	0,2
167000	4,5	3,7	5,4	0,2
LSD	0,1	0,2	0,2	
F <sup>(1)</sup> lieu*densité	**	*		

42000, 125000 et 167000 désignent les densités de plantation en plantes/ha

(1) : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction année date de semis (colonne année)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

significatives. L'interaction densité x variété décelée par l'analyse de variance ( $p < 0,0001$ ) s'explique par le comportement des variétés Oultan et Irma 772. Celles-ci manifestent des écarts de hauteur de plus grande amplitude que les autres variétés (Tableau 3-11).

### *iii. Effet de la variété*

Quelque soit la date de semis ou la densité, les variétés Mar 88-214, Chaco 520 et Rockett ont donné des cotonniers les plus courts ; les variétés Irma A 1042, Irma 772, Stam 18 A, H 279-1 et S 188 ont produit les cotonniers les plus élancés. Guazuncho 2 est souvent resté intermédiaire entre ces deux extrêmes. Chaco 520 et Mar 88-214 ont eu des amplitudes d'écart entre dates de semis plus faibles que celles des autres variétés, ce qui a été à l'origine d'une interaction date de semis \* variété significative (Tableau 3-11). Les classements ont été conservés sous toutes les conditions de culture.

Malgré les interactions année \* lieu \* date de semis (Test  $F=2,65$ ) d'une part, et densité \* variété (test  $F=3,05$ ) d'autre part, l'effet génétique a été très important (test  $F=148,36$ ).

## **c- Hauteurs d'entre-noeud sur la tige principale (HNR : « height to node ratio »)**

### *i. Effet de la date de semis*

Les plants issus de semis tardif ont eu des entre-noeuds significativement ( $p=0,0004$ ) plus courts que ceux semés à bonne date. En moyenne, les entre-noeuds ont mesuré 4,8 cm en semis de juin contre 4,5 cm pour le semis retardé. Toutefois, l'analyse statistique a mis en évidence une interaction année\*date de semis significative. Les différences entre date de semis étaient plus fortes en 2002 qu'en 2003 (Tableau 3-12). Mais cette interaction ne remet pas en cause l'effet principal de la date de semis.

### *ii. Effet de la densité*

Les plants de cotonnier ont développé des entre-noeuds plus courts à 125000 et 167000 plantes par ha qu'à 42000 plantes par ha ; cet effet a été plus marqué à Cana qu'à Okpara où les différences entre densités n'ont pas été significatives (Tableau 3-13). C'est ce qui explique d'ailleurs que l'interaction lieu \* densité ait été significative. Dans aucun des lieux les différences n'ont été significatives entre 125000 plantes par ha et 167000 plantes par ha.



**Tableau 3-14 : Longueur moyenne des entrenocuds de la tige principale par variété aux deux dates de semis et aux trois densités**

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	4,3	4,4	4,2		4,5	4,2	4,2	
Guazuncho 2	4,5	4,7	4,3		4,8	4,3	4,5	
H 279-1	4,7	4,9	4,6		4,7	4,7	4,7	
Irma 772	4,8	4,9	4,6		5,1	4,8	4,4	
Irma A 1042	5,0	5,2	4,7	0,2	5,1	4,9	4,9	0,2
Mar 88-214	3,8	3,8	3,7		3,9	3,7	3,6	
Oultan	5,2	5,4	5,0		5,6	5,0	5,0	
Rockett	4,2	4,4	4,0		4,4	4,2	4,0	
S 188	5,1	5,3	4,9		5,3	5,1	5,0	
Stam 18 A	4,9	5,0	4,8		5,0	4,8	4,9	
Moyenne	4,6	4,8	4,5		4,8	4,6	4,5	
CV(%)	9,7	9,9	9,5		9,8	9,5	10,5	
LSD	0,1	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			**			

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%

**Tableau 3-15 : Nombre de nœuds par date de semis dans les deux lieux**

Date de semis	Moyenne	Lieux		LSD
		Okpara	Cana	
Juin	17,4	15,0	19,8	0,7
Retardé	15,9	15,0	16,8	0,7
LSD	0,5	0,7	0,7	
F <sup>(1)</sup>	**	**		

(1) : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction lieu\*date de semis (colonne lieu)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

**Tableau 3-16 : Nombre moyen de nœuds par variété dans les différents itinéraires techniques testés**

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	15,3	15,9	14,6		16,7	14,6	14,5	
Guazuncho 2	16,0	16,6	15,4		17,5	15,7	14,8	
H 279-1	17,7	18,7	16,8		19,5	17,2	16,6	
Irma 772	18,6	19,6	17,6		20,6	17,9	17,2	
Irma A 1042	17,4	18,0	16,9	0,7	19,1	16,6	16,6	0,8
Mar 88-214	15,2	15,8	14,7		16,6	15,0	14,1	
Oultan	16,6	17,6	15,6		18,4	16,2	15,2	
Rockett	15,7	16,5	14,9		17,5	15,1	14,6	
S 188	16,1	16,7	15,6		17,7	15,5	15,2	
Stam 18 A	17,8	18,5	17,0		19,7	16,7	16,9	
Moyenne	16,6	17,4	15,9		18,3	16,0	15,6	
CV (%)	7,0	7,4	6,8		7,4	6,7	7,3	
LSD	0,4	0,6	0,6		0,7	0,7	0,7	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			ns			

(1). Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

iii.

### *Effet de la variété*

Les plants des variétés Oultan, S 188, Irma A 1042, Irma 772 et Stam 18 A ont eu les entrenœuds les plus longs, quelque soient les situations de culture, en semis précoce ou retardé, à densité normale ou renforcée. A l'inverse, les variétés Mar 88-214, Rockett et Chaco 520 ont développé les entrenœuds les plus courts (Tableau 3-14). La valeur du test F pour l'effet variété étant très élevé (90,35) par rapport à celle de l'interaction densité\*variété (2,32) et celle de l'interaction année\*lieu\*date de semis\*variété (2,01), nous avons jugé préférable de tenir compte des différences entre variétés décelées par l'analyse de variance.

L'interaction avec densité s'explique essentiellement par des variations des amplitudes des écart entre variété selon les densités et par un déclassement de Irma 772 à 167000 plantes par ha ; mais ces petites variations ne remettent pas en cause les effets principaux des différents facteurs étudiés.

## **d- Nombres de nœuds sur la tige principale (NN)**

i.

### *Effet de la date de semis*

Un retard au semis réduit le nombre de nœuds à Cana (site sur lequel les conditions pluviométriques sont moins bonnes) alors qu'à Okpara l'essai ne révèle aucune différence significative entre les deux dates de semis (Tableau 3-15). Ce résultat peut être rapproché de celui des hauteurs en cm, où la réduction de hauteur provoquée par les retards au semis était plus accentuée à Cana qu'à Okpara.

ii.

### *Effet de la densité*

Les fortes densités ont réduit le nombre de nœuds produit sur la tige principale. Les nœuds dénombrés sur la tige principale ont été en moyenne 18,3 ; 16,0 et 15,6 respectivement aux densités de 42 000 pieds/ha, 125 000 pieds/ha et 167 000 pieds/ha. L'effet densité a été hautement significatif ( $p < 0,0001$ ) et n'interagit avec aucune des autres variables.

iii.

### *Effet de la variété*

Dans chacun des essais (année x lieu) et quelque soit l'itinéraire technique considéré (date de semis ou densité), les variétés Irma 772, H 279-1, Irma A 1042 et Stam 18 A ont installé le plus grand nombre de nœuds sur leur tige principale. Rockett, Mar 88-214 et Chaco 520 ont installé un nombre de nœuds faible sur leur tige principale. Guazuncho et S 188 sont intermédiaires entre les deux groupes précédents (Tableau 3-16).



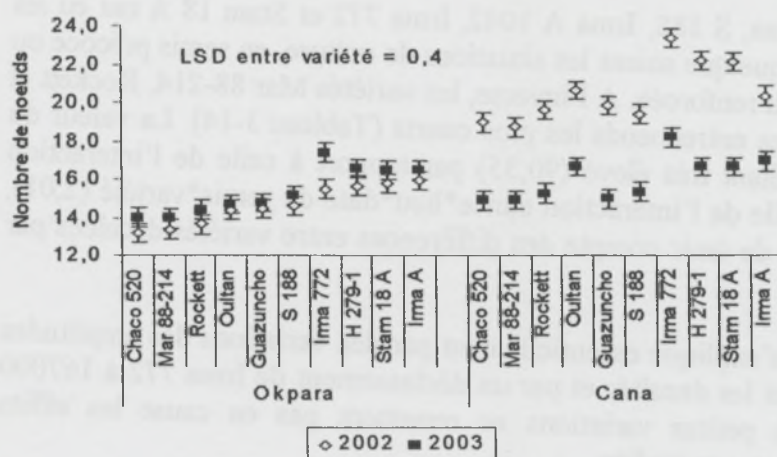


Figure 3-7 : Nombre de nœuds par variété et par essai

Tableau 3-17 : Nombre moyen de branches végétatives par plant aux deux dates de semis dans les différents essais

Date de semis	Moyenne	Cana		Okpara	
		2002	2003	2002	2003
Juin	1,0	1,1	0,4	1,1	1,4
Retardé	1,0	0,4	0,6	1,4	1,5
LSD	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5
F <sup>(1)</sup>	ns		*		

<sup>(1)</sup> : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction année\*lieu\*date de semis (colonne année)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%

Tableau 3-18 : Nombre moyen de branches végétatives par plant et par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	1,1	1,0	1,2		1,3	1,3	0,7	
Guazuncho 2	1,0	1,2	0,8		1,2	0,7	1,1	
H 279-1	1,4	1,3	1,5		1,7	1,1	1,4	
Irma 772	0,7	0,6	0,7		1,0	0,6	0,5	
Irma A 1042	1,0	1,2	0,9	0,4	1,5	0,8	0,8	0,5
Mar 88-214	0,7	0,6	0,8		1,0	0,6	0,4	
Oultan	0,5	0,5	0,5		0,9	0,3	0,3	
Rockett	0,9	1,0	0,8		1,3	0,7	0,6	
S 188	1,1	1,2	1,1		1,7	1,0	0,7	
Stam 18 A	1,5	1,5	1,4		2,0	1,2	1,2	
Moyenne	1,0	1,0	1,0		1,3	0,8	0,8	
CV(%)	32,0	32,6	34,5		26,8	38,1	45,8	
LSD	0,3	0,4	0,4		0,5	0,5	0,5	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			ns			

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%

L'analyse statistique a révélé une interaction année \* lieu \* variété hautement significative ( $p=0,0028$ ). Cette interaction peut s'expliquer par le comportement de Oultan qui se rapproche à Cana du groupe des variétés africaines produisant le plus de nœuds alors qu'il apparaissait plus proche du groupe produisant le moins de nœuds à Okpara ; on observait également que les nombres de nœuds étaient plus élevés en 2002 qu'en 2003 à Cana, ce qui n'était pas le cas à Okpara où la tendance semble même être inversée (Figure 3-7). La production d'un nombre plus élevé de nœuds en 2002 qu'en 2003 à Cana est à relier aux difficultés hydriques rencontrées par les cotonniers dans l'essai de 2002.

## **e- Nombres de branches végétatives (NBV)**

### **i.                   *Effet de la date de semis***

La date de semis n'a pas eu de significatif sur le nombre de branches végétatives développées par les plants de cotonnier ( $p=0,6361$ ). Toutefois, sur un des quatre essais (Cana 2002), les cotonniers ont émis moins de branches végétatives en semis retardé (Tableau 3-17). Cette situation, observée sur le semis tardif de l'essai de 2002 à Cana pourrait s'expliquer par les conditions hydriques particulièrement défavorables qui prévalaient au moment de la formation de ces branches, c'est-à-dire la période allant du semis à l'apparition des premières fleurs, situations hydriques décrites au chapitre 2.

### **ii.                   *Effet de la densité***

Le nombre moyen de branches par plant a été plus faible à 167000 et 125000 plantes par ha (0,8 aux deux densités) qu'à 42000 plantes par ha (1,3). Cette tendance a été maintenue pour toutes les variétés testées (Tableau 3-18). L'effet densité a été hautement significatif ( $p<0,0001$ ).

### **iii.                   *Effet de la variété***

Dans tous les itinéraires techniques testés, que ce soit en semis précoce comme en semis tardif, à faible ou à forte densité, les variétés Stam 18 A et H 279-1 ont émis le plus grand nombre de branches végétatives. En revanche, les nombres de branches végétatives par plant ont été toujours faibles chez les variétés Oultan, Mar 88-214 et Irma 772 (Tableau 3-18). Aucune interaction, ni avec les facteurs étudiés, ni avec les essais n'a été significative. Ceci montre l'importance de la variabilité génétique de ce caractère.



Tableau 3-19 : Longueur des branches végétatives (LBV) par date de semis dans les quatres essais

Date de semis	Moyenne	Cana		Okpara	
		2002	2003	2002	2003
Juin	33,6	38,5	25,9	34,5	35,5
Retardé	28,7	32,5	23,0	29,7	29,7
LSD	3,4	4,1	4,1	4,1	4,1
F <sup>(1)</sup>	**		**		

<sup>(1)</sup> : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction année\*lieu\*date de semis (colonne du centre)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

Tableau 3-20 : Longueur moyenne des branches végétatives par densité et par essai

Densité	Moyenne	Cana		Okpara	
		2002	2003	2002	2003
42000	45,6	51,7	33,8	45,4	51,4
125000	25,2	27,8	21,5	23,9	27,6
167000	20,3	26,0	17,4	18,9	18,9
LSD	5,4	5,1	5,1	5,1	5,1
F <sup>(1)</sup>	**		**		

42000, 125000 et 167000 désignent les densités de plantation en plantes/ha

<sup>(1)</sup> : les tests F portent respectivement sur les effets densité (colonne moyenne) et interaction année\*lieu\*date de semis

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

Tableau 3-21 : Longueur moyenne des branches végétatives par densité et par date de semis

Date de semis	Moyenne	Densité (plantes par ha)			LSD
		42000	125000	167000	
Juin	32,1	49,2	26,5	20,6	3,7
Retardé	28,4	42,0	23,6	19,5	3,7
Moyenne	30,2	45,6	25,1	20,0	2,8
LSD	3,4	3,6	3,6	3,6	
F date*densité			**		

42000, 125000 et 167000 désignent les densités de plantation en plantes/ha

\*\*: différences significatives à 1%

Tableau 3-22 : Longueur moyenne des branches végétatives par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	24,5	25,4	23,6		38,6	19,4	15,5	
Guazuncho 2	30,7	31,2	30,2		45,3	26,2	17,8	
H 279-1	35,3	38,0	32,7		48,0	30,5	27,5	
Irma 772	29,4	29,4	29,4		47,4	21,3	17,4	
Irma A 1042	35,6	39,4	31,7	4,3	55,7	27,0	23,9	5,3
Mar 88-214	23,1	23,8	22,4		33,1	19,5	16,7	
Oultan	31,4	33,4	29,5		44,9	29,3	17,0	
Rockett	27,0	31,1	22,9		40,3	23,7	17,0	
S 188	33,0	35,1	30,9		48,5	28,4	22,1	
Stam 18 A	34,9	35,8	34,0		54,1	25,2	25,3	
Moyenne	30,5	32,3	28,7		45,6	25,1	20,0	
CV (%)	14,6	15,8	14,7		15,1	15,9	21,4	
LSD	2,8	4,3	4,3		4,8	4,8	4,8	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			**	**		

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés (colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

## f- Longueurs de branches végétatives (LBV)

### i. *Effet de la date de semis*

Les branches végétatives ont été significativement plus courtes en semis retardé ( $p=0,0038$ ). Mais les amplitudes des écarts entre date de semis ont varié suivant les essais conduisant à la mise en évidence d'une interaction année \* lieu \* date de semis significative ( $p=0,0042$ ) : la tendance à la réduction de longueur des branches végétatives en semis retardé se vérifie quelque soit le lieu et l'année ; cependant, les écarts de longueur ont été plus élevés en 2002 qu'en 2003 à Cana ; à Okpara, ces écarts n'ont pas varié entre saison (Tableau 3-19).

### ii. *Effet de la densité*

La longueur des branches végétatives a été beaucoup plus sensible à la densité qu'à la date de semis. En moyenne par densité, les branches végétatives étaient significativement plus courtes aux fortes densités qu'à 42000 plantes par ha ( $P<0001$ ) (Tableau 3-20).

A Cana, les branches végétatives ont été plus courtes en 2003 qu'en 2002 à toutes les densités ; à Okpara, les différences entre années n'ont été significatives qu'à 42000 plantes par ha où c'était plutôt en 2002 que les branches végétatives étaient plus courtes. Les analyses de variance ont ainsi mis en évidence une interaction année \* lieu \* densité hautement significative (test  $F=5,8$ ), quoique très inférieur à l'effet principal de la densité (test  $F=224,52$ ). Mais cette interaction ne remettait pas en cause la tendance de l'effet principal, les branches végétatives ont été plus courtes aux fortes densités qu'à 42000 plantes par ha quelque soit le lieu et l'année (Tableau 3-20).

Des différences d'amplitude des écarts de longueur de branche végétative entre date de semis ont causé une interaction date de semis\*densité qui ne remet pas en cause l'effet principal de la date de semis : à 42000 plantes par ha, les branches végétatives ont été significativement plus courtes en semis retardé ; aux densités de 125000 et 167000 plantes par ha, les différences entre date de semis n'ont pas été significatives, mais la tendance à la réduction de longueur s'est confirmée (Tableau 3-21).

### iii. *Effet de la variété*

Les analyses statistiques ont mis en évidence la prédominance de l'effet génétique (test  $F=17,68$ ) sur celui des interactions avec la variété (test  $F=2,81$  pour l'interaction densité \* variété et 2,40 pour l'interaction année \* variété).

En moyenne, les cotonniers des variétés H 279-1, Irma A 1042 et Stam 18 A ont donné les plus longues branches végétatives, ceux de Mar 88-214, Chaco 520 et Rockett ont eu les branches végétatives les plus courtes (Tableau 3-22).



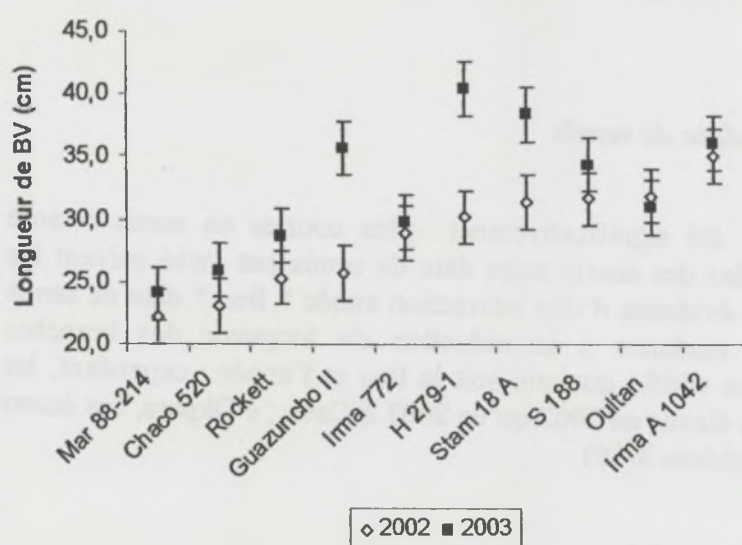


Figure 3-8 : Longueur moyenne des branches végétatives par variété et par année

Tableau 3-23 : Longueur des branches fructifères (LBF) par date de semis et par essai

Date de semis	Moyenne	Cana		Okpara	
		2002	2003	2002	2003
Juin	21,8	25,6	14,1	23,6	23,9
Retardé	21,1	23,4	16,8	23,0	21,2
LSD	0,9	1,8	1,8	1,8	1,8
F année*lieu*date			**		

\*\*: différences significatives à 1%

Tableau 3-24 : Longueur moyenne des branches fructifères par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	19,5	19,6	19,4		28,1	15,1	15,4	
Guazuncho 2	22,4	23,0	21,7		32,9	18,1	16,0	
H 279-1	26,7	28,1	25,4		37,0	22,8	20,4	
Irma 772	21,4	21,3	21,4		32,1	17,5	14,5	
Irma A 1042	25,1	25,6	24,6	1,8	36,3	19,7	19,4	2,2
Mar 88-214	18,8	19,0	18,6		26,0	16,1	14,3	
Oultan	10,4	10,3	10,5		12,6	9,6	9,2	
Rockett	20,3	21,0	19,6		28,8	17,2	14,8	
S 188	25,1	25,4	24,8		34,5	21,7	19,0	
Stam 18 A	25,0	24,7	25,4		35,8	19,5	19,7	
Moyenne	21,5	21,8	21,1		30,4	17,7	16,3	
CV (%)	22,1	22,8	21,5		24,0	21,1	21,1	
LSD	1,2	1,7	1,7		2,1	2,1	2,1	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			**			

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

Les variétés Stam 18 A, Irma A 1042, Irma 772 ainsi que Oultan et Guazuncho 2 ont été plus sensibles à l'effet de la compétition. Elles ont eu à forte densité des branches de longueurs beaucoup plus réduites que celles des autres variétés.

Quelques inversions de classements observées aux fortes densités avec les variétés Oultan, S 188, H 279-1 ont été à l'origine de l'interaction avec la densité : Oultan a eu de longues branches végétatives (BV) à 125000 plantes par ha et de courtes BV à 167000 plantes par ha ; H 279-1 a eu de longues branches végétatives à 125000 et 167000 plantes par ha alors qu'elle faisait partie du groupe intermédiaire à 42000 plantes par ha (Tableau 3-22).

Les variétés Guazuncho 2, H 279-1 et Stam 18 A ont eu des branches végétatives plus longues en 2003 qu'en 2002, les différences entre années n'ayant pas été significatives pour les autres variétés (Figure 3-8). Ce comportement a été aussi à l'origine d'une interaction année \* variété significative ( $p=0,0120$ ).

## **g- Longueurs de branches fructifères (LBF)**

### **i.                   *Effet de la date de semis***

L'effet principal de la date de semis n'a pas été significatif sur la longueur des branches fructifères ( $p=0,12$ ) ; néanmoins, on pouvait observer que les branches fructifères ont tendance à être plus courtes en semis retardé, sauf en 2003 à Cana où une situation inverse a été observée (Tableau 3-23); cette situation a été à l'origine de l'interaction année \* lieu \* date de semis ( $p=0,0003$ ).

### **ii.                   *Effet de la densité***

Les branches fructifères ont été significativement plus courtes aux hautes densités (167000 et 125000 plantes par ha) par rapport à la densité de 42000 plantes par ha ( $p<0,0001$ ). A part H 279-1 pour laquelle la différence de longueur de branche fructifère entre 125000 plantes/ha et 167000 plantes/ha était à la limite de la signification, pour aucune des variétés il n'y a eu de différences significatives entre les deux plus hautes densités (Tableau 3-24). En condition de compétition entre plants, la longueur des branches fructifères diminue donc mais au-delà de 125 000 plants hectares, l'analyse ne décele plus de différences significatives.

### **iii.                   *Effet de la variété***

L'effet variétal est hautement significatif ( $F 117,88$ ,  $p<0,0001$ ) ; en moyenne par variété, H 279-1, Irma A 1042, S 188 et Stam 18 A ont donné les plus longues branches fructifères (BF), Oultan, Mar 88-214 et Chaco 520 ont eu les BF les plus courtes. Les interactions avec la date de semis n'ont pas été significatives ( $p=0,22$ ) si bien que la



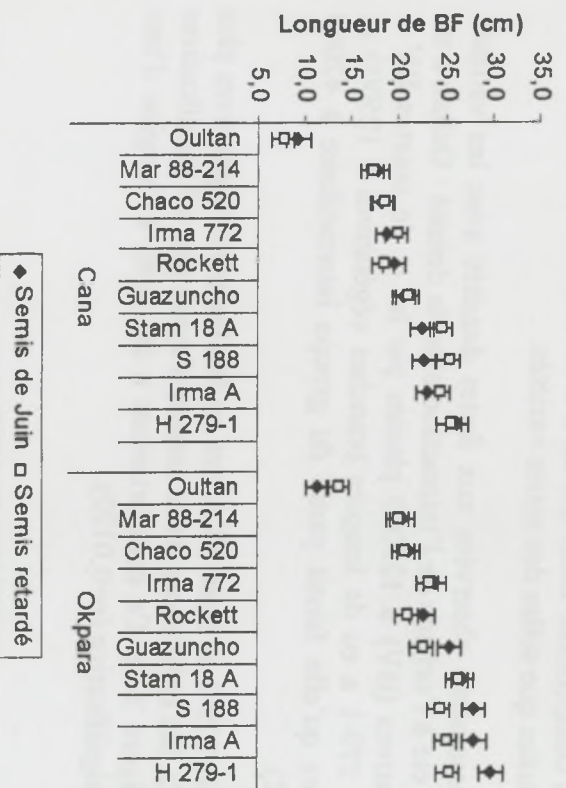


Figure 3-9 : Longueur moyenne des branches fructifères par variété, par date de semis et par lieu

conclusion précédente a été valable aux deux dates de semis (Tableau 3-24). Par contre, on pouvait observer que les écarts entre faible et forte densité ont été beaucoup plus faibles sur la variété Oultan à port cluster que sur les autres variétés : l'interaction densité\*variété a été hautement significative ( $p < 0.0001$ ).

L'analyse a décelé d'autres interactions significatives avec la variété : interaction lieu\*date de semis\*variété ( $F=2,65$  ;  $p=0,0054$ ) et année \* variété ( $F=4,42$  ;  $p < 0,0001$ ). Ces interactions présentent des niveaux de signification inférieurs à celui de la variété comme l'indiquent les valeurs de test F. Les différences entre dates de semis n'étaient significatives pour aucune des variétés à Cana mais à Okpara, les branches fructifères étaient significativement plus courtes pour certaines d'entre elles : Guazuncho 2, S 188, Irma A 1042 et H 279-1 (Figure 3-9). Les classements ont été conservés sous toutes les conditions de culture.

Les variétés se répartissent en quatre groupes de longueur de branches significativement différents entre eux. H 279-1, Irma A 1042, S 188 et Stam 18 A ont des branches fructifères de grande taille, tandis que Mar 88-214 et Chaco 520 ont des branches plus courtes. Oultan est une variété *cluster*, donc à branches fructifères encore plus courtes. Enfin, Guazuncho 2, Rockett et Irma 772, ont produit des branches de longueur intermédiaire entre les deux extrêmes.

## h- Conclusions

Les semis retardés raccourcissent la hauteur des plants et réduisent le nombre de nœuds sur les tiges principales, raccourcissent la longueur des branches végétatives mais n'ont pas d'effets significatifs sur la longueur des branches fructifères. Dans les conditions marginales de production comme celles de Cana (pluviométrie utile inférieure à 500 mm, sol peu fertile), l'effet sur la taille et la longueur des branches est bien marqué. A Okpara où les conditions hydriques et de fertilité du sol ont été meilleures, l'effet de la date de semis a été moins marqué sur la taille des cotonniers.

L'effet de la densité sur la morphologie est beaucoup plus marqué que l'effet de la date de semis. Nos résultats indiquent qu'aux fortes densités les cotonniers ont été plus courts et ont développé des branches plus courtes.

Nos résultats, obtenus en régime pluvial, montrent également l'influence du régime hydrique sur la morphologie avec des effets souvent plus marqués à Cana, moins bien arrosé que Okpara.

Les critères étudiés permettent de décrire plus précisément la variabilité génétique de nos variétés :

- Stam 18 A et H 279-1 sont des cotonniers de grande taille avec de longues branches végétatives et fructifères. Elles développent un nombre élevé de branches végétatives et de long entrenœuds.
- Irma A 1042 et S 188 sont deux génotypes très proches des précédents pour la taille (HT) et la longueur des branches. Mais elles se distinguent par la production d'un



nombre moyen de branches végétatives plus élevé et des entrenoeuds plus long. S 188 possède en outre des feuilles de type Okra et fabrique toutefois moins de nœuds par tige.

- Mar 88-214 est un génotype de courte taille avec des branches de longueur moyenne pour les fructifères et courte pour les végétatives. Il fabrique des entrenoeuds très courts et ne développe que très peu de branches végétatives.
- Chaco 520 et Rockett présentent les mêmes caractéristiques que Mar 88-214, mais leur taille est un peu plus grande et ils produisent un peu plus de branches végétatives que cette dernière, ces branches végétatives étant un peu plus longues.
- Guazuncho 2 présente un comportement intermédiaire entre les deux extrêmes précédents (Mar 88-214 et le groupe H 279-1) : taille moyenne, entrenoeud de longueur moyenne, un nombre moyen de branches végétatives, et des branches de longueur moyenne.
- Oultan donne des cotonniers de taille élancée avec un nombre moyen de nœuds par tige résultant en de longs entrenoeuds. Elle développe peu de branches végétatives de longueur moyenne à longue et de très courtes branches fructifères, ce qui lui donne un aspect caractéristique, élancé, étroit et en colonne.
- Irma 772 est élancé comme Oultan, mais développe beaucoup de nœuds et par conséquent des entrenoeuds de longueur moyenne. Irma 772 développe peu de branches végétatives, mais des branches de longueur intermédiaire.

Les variétés utilisées dans notre expérimentation représentent donc une gamme de morphologies bien différentes, tandis que dates de semis et densités conduisent à des variations de l'architecture des variétés, la densité ayant un effet plus marqué que la date de semis, avec une tendance de la réduction du volume de la plante aux hautes densités et en cas de retard au semis.

Tableau 3-25 : Nombre moyen de sites par plant par date de semis et par essai

Date de semis	Moyenne	Cana		Okpara	
		2002	2003	2002	2003
Juin	31,1	48,9	26,9	24,4	24,1
Retardé	26,5	31,2	21,0	29,7	24,3
LSD	1,8	3,5	3,5	3,5	3,5
F année*lieu*date			**		

\*\* : différences significatives à 1%

Tableau 3-26 : Nombre moyen de sites par plant aux deux dates de semis et aux trois densités testées

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	27,4	30,1	24,7		42,2	21,0	19,0	
Guazuncho 2	28,6	30,6	26,7		44,5	23,3	18,1	
H 279-1	34,3	37,4	31,2		51,0	29,5	22,3	
Irma 772	28,5	30,7	26,3		46,8	20,7	17,9	
Irma A 1042	30,2	32,2	28,3	3,6	48,3	21,5	20,9	4,2
Mar 88-214	27,1	28,8	25,4		40,2	24,0	17,2	
Oultan	20,9	23,3	18,4		30,6	17,2	14,9	
Rockett	28,5	32,6	24,5		44,3	22,6	18,7	
S 188	28,9	29,3	28,5		45,4	22,0	19,3	
Stam 18 A	33,6	35,7	31,4		52,9	24,3	23,5	
Moyenne	28,8	31,1	26,5		44,6	22,6	19,2	
CV (%)	12,8	12,4	14,2		14,0	14,0	13,1	
LSD	2,2	3,2	3,2		3,9	3,9	3,9	
F <sup>(1)</sup>	**	ns			**			

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%



### 3.2.3- SITES FRUCTIFERES, TAUX DE RETENTION, PRODUCTION CAPSULAIRE ET REPARTITION SUR LE PLANT

#### a- Introduction

Les résultats publiés dans la littérature sur la production de sites fructifères et la répartition de la production capsulaire ne précisent pas souvent les effets génétiques et les effets de facteurs importants en culture pluviale tels que la date de semis et la densité. Pour apporter une contribution à ces aspects de la question, et pour comprendre les variations de rendement dans différents itinéraires techniques, nous avons observé, dans les conditions du Bénin, les effets des facteurs dates de semis et densités sur la capacité de fructification, la rétention et la répartition capsulaire de géotypes très contrastés.

#### b- Sites fructifères (SPP)

##### i. *Effet de la date de semis*

A Okpara, les plants ont tendance à produire plus de sites en semis retardé qu'en semis de juin. Mais à Cana et plus particulièrement en 2002 on observe une situation inverse en raison d'une pluviométrie particulièrement erratique en semis de juin dans ce lieu (Tableau 3-25).

##### ii. *Effet de la densité*

A 42000 plantes par ha, les cotonniers produisent plus de sites fructifères qu'à 125000 et 167000 plantes par ha chez toutes les variétés (Tableau 3-26). A la différence de l'effet de la date de semis, l'effet de la densité n'a pas varié suivant les sites. Les différences d'amplitude des écarts entre les densités extrêmes ont été à l'origine d'une interaction densité \* variété hautement significative : les variations les plus fortes ont été enregistrées sur H 279-1, Irma A 1042, Irma 772 et Stam 18 A ; les moins fortes ont été enregistrées sur Oultan.

Tableau 3-27 : Taux de rétention global par date de semis et par lieu

date de semis	Moyenne	Lieu		LSD
		Cana	Okpara	
Précoce	26,4	22,2	30,7	3,9
Tardif	26,3	26,0	26,5	3,9
LSD	2,7	3,9	3,9	
F lieu*date		**		

\*\* : différences significatives au seuil de 1%

Tableau 3-28 : Taux de rétention global par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	25,7	25,7	25,8		28,6	25,7	23,9	
Guazuncho 2	<u>29,3</u>	<u>29,4</u>	<u>29,2</u>		<u>33,4</u>	29,3	<u>27,5</u>	
H 279-1	<u>24,9</u>	26,4	<u>23,4</u>		28,5	24,9	22,5	
Irma 772	<u>24,7</u>	25,1	<u>24,2</u>		27,4	24,7	23,5	
Irma A 1042	<u>28,2</u>	<u>28,8</u>	27,7	3,1	<u>31,8</u>	28,2	25,7	2,5
Mar 88-214	25,8	24,9	26,8		28,7	25,8	24,5	
Oultan	<u>29,8</u>	<u>28,5</u>	<u>31,0</u>		<u>35,1</u>	29,8	25,5	
Rockett	26,7	26,2	27,2		28,4	26,7	25,1	
S 188	<u>24,3</u>	25,2	<u>23,4</u>		<u>24,8</u>	24,3	23,6	
Stam 18 A	<u>24,2</u>	<u>24,4</u>	<u>24,0</u>		<u>26,5</u>	24,2	22,3	
Moyenne	26,4	26,4	26,3		29,3	26,4	24,4	
CV (%)	7,8	6,8	9,9		10,8	7,8	6,5	
LSD	1,2	1,8	1,8		2,2	2,2	2,2	
F <sup>(1)</sup>	**	**			ns			

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés (colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%



iii.

### *Effet de la variété*

Dans toutes les situations expérimentales, Oultan a produit peu de sites par plant tandis que Stam 18 A et H 279-1 en produisaient le plus grand nombre. A côté de ces comportements constants, on remarque toutefois que S 188 et Mar 88-214 ont perdu peu de sites entre les deux dates de semis, Rockett en perdant au contraire beaucoup. Les autres géotypes ont produit un nombre de sites intermédiaire entre ces deux extrêmes (Tableau 3-26). A faible densité de semis, on note encore que les variétés à fort développement végétatif, Stam 18A, H 279-1 et Irma A1042, produisent davantage de sites fructifères que les autres variétés, en particulier Oultan. Le classement reste conservé lorsque la densité de semis est multipliée par 3 ou 4. Néanmoins, les variétés africaines subissent plus fortement l'effet de la compétition.

## **c- Taux de rétention global (RG)**

i.

### *Effet de la date de semis*

Comme pour l'effet de la date de semis sur la production de sites fructifère par plant, l'effet de la date de semis sur le taux de rétention total varie aussi en fonction des lieux. A Okpara, Les cotonniers ont mieux retenu leur capsules en semis de Juin, ce qui n'a pas été le cas à Cana où les capsules étaient plutôt mieux retenues en semis retardé. Cette situation a été à l'origine d'une interaction lieu\*date de semis hautement significative ( $p=0.0088$ ) (Tableau 3-27)

ii.

### *Effet de la densité*

A 42000 plantes par ha, les cotonniers retiennent mieux leurs capsules qu'à 125000 et 167000 plantes par ha (Tableau 3-28). A la différence de l'effet de la date de semis, l'effet de la densité n'a pas varié en fonction des sites (l'interaction lieu \* date de semis n'a pas été significative).

iii.

### *Effet de la variété*

Dans l'ensemble, Oultan, Guazuncho 2 et Irma A 1042 ont enregistré les meilleurs taux de rétention, proches de 30%. Stam 18 A, S 188, Irma 772 et H 279-1 ont enregistré des taux nettement plus faibles, voisins de 24 à 25%. Les autres variétés, Chaco 520, Mar 88-214 et Rockett sont intermédiaires entre ces deux groupes (Tableau 3-28). Les écarts entre variétés se conservent d'une date de semis à l'autre. En revanche, ils ont tendance à se lisser aux fortes densités de semis

Lorsqu'on considère les moyennes par variété, on retrouve deux cas extrêmes :

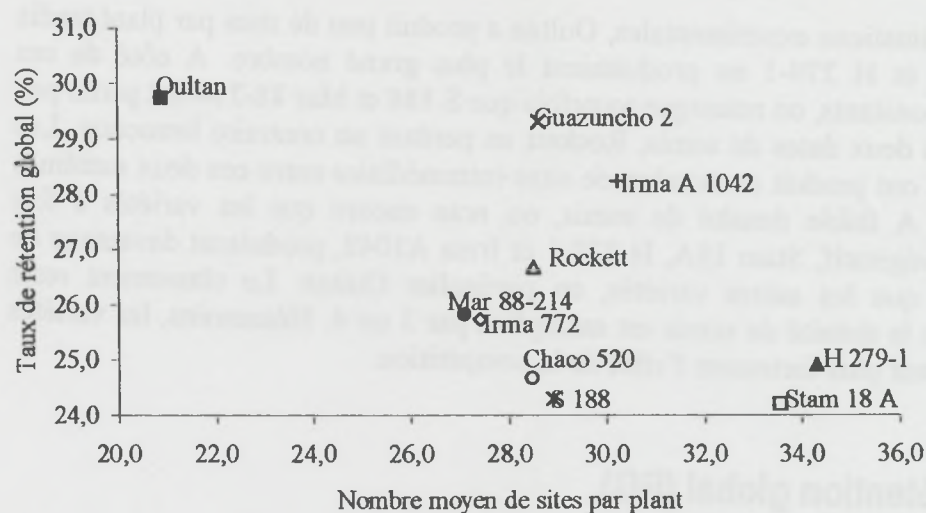


Figure 3-10 : Relation génétique entre nombre de site et taux moyen de rétention

Tableau 3-29 : Taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1) par date de semis et par essai

Date de semis	Moyenne	Lieux		LSD
		Okpara	Cana	
Semis de Juin	41,7	51,0	32,3	4,4
Semis retardé	42,3	46,9	37,7	4,4
LSD	3,1	4,4	4,4	
F <sup>(1)</sup>	ns	**		

<sup>(1)</sup> : les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne) et interaction lieu\*date de semis (colonne lieu)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%

Tableau 3-30 : Taux de rétention sur les premières positions de BF (RP1) par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	44,4	44,1	44,6	3,8	52,9	41,0	39,2	3,4
Guazuncho 2	46,8	46,1	47,4		53,7	44,2	42,4	
H 279-1	43,5	44,3	42,8		50,1	42,5	38,0	
Irma 772	36,9	36,3	37,4		46,7	33,3	30,5	
Irma A 1042	44,1	44,4	43,8		50,4	42,2	39,5	
Mar 88-214	40,0	37,7	42,2		46,5	38,0	35,3	
Oultan	36,5	34,8	38,3		45,3	34,5	29,9	
Rockett	43,2	42,3	44,1		47,4	43,0	39,3	
S 188	41,6	42,5	40,7		47,4	40,4	37,0	
Stam 18 A	43,0	44,0	42,0		49,1	42,0	37,9	
Moyenne	42,0	41,7	42,3		48,9	40,1	36,9	
CV(%)	7,9	9,4	7,1		5,7	9,1	10,8	
LSD	1,8	2,6	2,6		3,1	3,1	3,1	
F <sup>(1)</sup>	**	**				**		

<sup>(1)</sup> : Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%



- Oultan a produit peu de sites fructifères mais présente un fort taux de rétention ;
- H 279-1 et Stam 18 A ont produit de nombreux sites fructifères mais ont enregistré un faible taux de rétention ;

Pour Oultan (peu de sites, forte rétention) et H 279-1 et Stam 18A (davantage de sites, rétention faible), on note une relation inverse entre les deux variables. En revanche, pour les variétés dont le nombre de sites est intermédiaire, il ne semble pas y avoir de relation très stricte avec le taux moyen de rétention (figure 3-10). On pouvait alors distinguer :

- des variétés présentant un état moyen pour le nombre de sites produits par plant et le taux de rétention capsulaire : Mar 88-214, Chaco 520, Rockett, Irma 772 et S 188
- des variétés présentant un nombre de sites moyen et un taux de rétention relativement élevé : Guazuncho 2 et Irma A 1042 (Figure 3-10)

#### **d- Taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1)**

##### *i. Effet de la date de semis*

L'effet principal de la date de semis n'a pas été significatif sur la capacité des cotonniers à retenir leur capsule en première position de branche fructifère même si à Cana, les cotonniers ont semblé mieux retenir leur capsule en semis retardé (Tableau 3-29). Cette situation a été à l'origine d'une interaction lieu \* date de semis significative ( $p=0,0056$ )

On observe aussi que les cotonniers de la variété Mar 88-214 ont mieux retenu leur première position fructifère en semis retardé tandis que pour les autres variétés, les différences entre dates de semis n'ont pas été significatives (Tableau 3-30) : interaction date de semis \* variété significative ( $p=0.0035$ ).

##### *ii. Effet de la densité*

Les cotonniers parviennent plus difficilement à retenir leur capsule aux fortes densités. Les taux de rétention en première position de BF ont été significativement plus faibles à 125000 et 167000 plantes par ha qu'à 42000 plantes (Tableau 3-30).

Les variétés Oultan, Irma 772 et Chaco 520 ont eu des capacités de rétention capsulaire beaucoup plus diminuées à 167000 plantes par ha que les autres variétés (Tableau 3-30), ce qui a été à l'origine d'une interaction densité \* variété hautement significative ( $p<0,0001$ ).

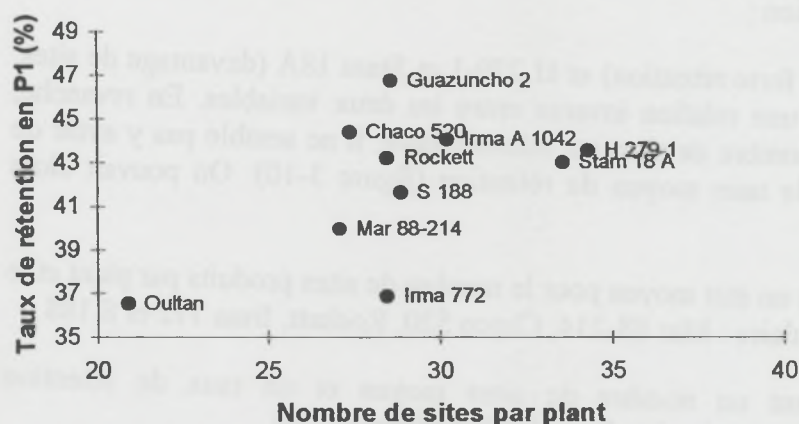


Figure 3-11 : Variabilité génétique du taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1) en fonction du nombre de site fructifère par plant (SPP)

Tableau 3-31 : Nombre moyen de capsules par plant par variété aux deux dates de semis et aux trois densités

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	6,7	7,1	6,2		10,6	4,9	4,5	
Guazuncho 2	8,1	8,5	7,8		13,6	5,8	5,0	
H 279-1	8,2	9,5	6,9		13,4	6,3	5,0	
Irma 772	6,7	7,2	6,3		11,7	4,7	3,8	
Irma A 1042	8,2	8,8	7,5	1,1	14,2	5,5	4,9	1,1
Mar 88-214	6,4	6,2	6,7		10,3	5,0	4,0	
Oultan	5,7	6,0	5,5		9,0	4,6	3,7	
Rockett	7,0	7,7	6,4		11,4	5,4	4,3	
S 188	6,4	6,7	6,1		9,9	5,0	4,3	
Stam 18 A	7,7	8,1	7,3		12,7	5,5	4,8	
Moyenne	7,1	7,6	6,7		11,7	5,3	4,4	
CV(%)	12,3	15,2	10,6		15,0	10,0	11,0	
LSD	0,5	0,7	0,7		0,9	0,9	0,9	
F <sup>(1)</sup>	**	ns				**		

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%



**iii.**

***Effet de la variété***

Les variété Oultan, Mar 88-214, Irma 772, et S 188 ont eu les plus faibles taux de rétention en première position de branche fructifère. Les meilleurs taux ont été enregistrés sur Chaco 520, Guazuncho 2, H 279-1 et Irma A 1042 (Tableau 3-30). Malgré les interactions avec la date de semis, la densité ou les essais, l'effet variété a été hautement significatif avec un test F largement supérieur à ceux des interactions (25,39 contre moins de 4,0 pour les interactions).

En croisant les résultats de rétention en première position de branches fructifère et ceux de production de sites fructifère, on peut distinguer 4 groupes de comportement (Figure 3-11):

- Oultan a produit peu de sites fructifères et a retenu une faible proportion en première position
- H 279-1 et Stam 18 A ont produit de nombreux sites fructifères avec un fort taux de rétention capsulaire en première position
- Irma 772, Mar 88-214, et S 188 ont produit un nombre moyen de sites avec un taux moyen de rétention en première position
- Guazuncho 2, Chaco 520, Rockett et Irma A 1042 ont produit un nombre de sites moyen avec un taux de rétention élevé

**e- Nombre de capsules par plant (CPP)**

**i.**

***Effet de la date de semis***

La date de semis n'a pas eu d'effet significatif au seuil 0,05 sur le nombre de capsules par plant. On note toutefois que les semis retardés ont en moyenne près d'une capsule en moins ( $p=0,06$ ). L'interaction date de semis\*variété a été significative ( $p<0,0001$ ) du fait des écarts entre dates de semis particulièrement importants pour la variété H 279-1 et très faibles pour Oultan et Mar 88-214 (Tableau 3-31).

**ii.**

***Effet de la densité***

Le nombre moyen de capsules par plant baisse significativement aux fortes densités, à 125000 et à 167000 plantes par ha (Tableau 3-31). Il n'atteint même pas la moitié du nombre de capsules à la densité normale ( $p<0,0001$ ). L'interaction densité\*variété est également significative ( $p<0,0001$ ). Significatifs à densité normale, les écarts entre variétés sont nettement réduits aux fortes densités.

**Tableau 3-32 : Poids moyen capsulaire par date de semis dans les deux lieux et aux deux années**

Date de semis	Moyenne	Lieu		LSD	Année		LSD
		Cana	Okpara		2002	2003	
Semis de juin	4,3	4,5	4,2	0,2	4,2	4,5	0,2
Semis retardé	3,8	4,3	3,2	0,2	3,9	3,7	0,2
LSD		0,2	0,2		0,2	0,2	
F <sup>(1)</sup>	**		**			**	

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction lieu\* date de semis (colonne lieu) et interaction année \* date de semis (colonne année)

\*, \*\*: différences significatives au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: différences non significatives au seuil de 5%

**Tableau 3-33 : Poids moyen capsulaire par date de semis et par densité**

Date de semis	42000	125000	167000	LSD
Semis de juin	4,8	4,1	4,1	0,1
Semis retardé	4,0	3,8	3,5	0,1
Moyenne	4,4	3,9	3,8	0,1
LSD	0,2	0,2	0,2	
F densité*date de semis		**		

\*\* : différences hautement significatives

42000, 125000 et 167000 désignent les densités en nombre de plantes par ha



iii.

### *Effet de la variété*

Les plants des variétés Irma A 1042, H 279-1, Stam 18 A et Guazuncho 2 portent le plus grand nombre de capsules par plant, quelles que soient les situations de culture, en semis précoce ou retardé, à densité normale ou renforcée. A l'inverse, les variétés Oultan, Mar 88-214, S 188 et Irma 772 sont les moins chargées (Tableau 3-31). On note toutefois que la supériorité de H 279-1 s'exprime mieux en condition de semis précoce, et celle de Guazuncho II en semis plus tardif. Contrairement aux effets attendus de leur caractère *cluster* (entre nœuds très courts), Oultan et Irma 772 ne se comportent pas mieux en conditions de semis dense. Comparées à H 279-1 Guazuncho II et Irma A 1042, les variétés Oultan et S 188 perdent cependant moitié moins de capsules sous l'effet de la compétition résultant d'un semis dense. La valeur du test F pour l'effet variété étant très élevée par rapport à celles des interactions avec les dates de semis et les densités (21,12 contre des valeurs inférieures à 6 pour les interactions), montre que les différences entre variétés sont décelées par le traitement statistique.

## **f- Poids moyen d'une capsule (PMC)**

i.

### *Effet de la date de semis*

Les poids moyens capsulaires ont tendance à être plus faibles en semis tardif qu'en semis précoce. Cet effet a été observé plus nettement à Cana et en 2003 (Tableau 3-32). Ces résultats expliquent que les interactions lieu \* date de semis et année date de semis soient avérées significatives ( $p=0.0001$  et  $p=0.0064$  respectivement)

ii.

### *Effet de la densité*

Le poids moyen capsulaire est également significativement plus faible d'environ 0,5 g par capsule aux fortes densités, à 125000 et 167000 plantes par ha. Toutefois, les amplitudes des écarts entre densités ont quelque peu varié en fonction de la date de semis, si bien que l'analyse statistique a mis en évidence une interaction date de semis \* densité significative ( $p=0.0029$ ). Les différences entre 125000 et 167000 plantes par ha n'étaient pas significatives en semis de juin, mais elles l'ont été en semis retardé (Tableau 3-33)

iii.

### *Effet de la variété*

A la différence de la plupart des autres variables étudiées, on n'a pas noté la prédominance de l'effet variété sur les effets d'interaction en ce qui concerne le poids moyen capsulaire. Le test F de l'effet variété a été de 4,69 ( $p<0,0001$ ) contre 4,60 pour celui de l'interaction lieu \* variété ( $p<0,0001$ ) ; 3,48 pour celui de date de semis \* variété ( $p=0,0004$ ) et moins de 3,0 pour le reste des interactions avec la variété.

**Tableau 3-34 : Poids moyen capsulaire par variété aux deux dates de semis et aux trois densités**

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	4,0	4,4	3,7		4,4	3,9	3,8	
Guazuncho 2	3,9	4,1	3,6		4,3	3,8	3,6	
H 279-1	4,0	4,3	3,6		4,3	4,0	3,7	
Irma 772	3,9	4,2	3,7		4,4	3,8	3,7	
Irma A 1042	4,0	4,3	3,6	0,2	4,2	3,9	3,7	0,2
Mar 88-214	4,2	4,3	4,0		4,5	4,0	4,0	
Oultan	4,2	4,4	4,0		4,6	4,0	3,9	
Rockett	4,1	4,4	3,9		4,5	4,0	3,9	
S 188	4,1	4,6	3,7		4,3	4,2	3,9	
Stam 18 A	4,1	4,4	3,7		4,4	3,9	3,8	
Moyenne	4,0	4,3	3,8		4,4	3,9	3,8	
CV(%)	2,6	2,9	4,0		2,8	3,0	3,7	
LSD	0,1	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2	
F <sup>(1)</sup>	**	**			ns			

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

**Tableau 3-35 : Pourcentage de capsule sur BV par date de semis et par densité dans les différents essais ( année\* lieu)**

Date de semis	Moyenne	Okpara			Cana			LSD
		42000	125000	167000	42000	125000	167000	
Juin 2002	5,9	12,9	0,7	0,2	15,0	3,2	3,3	2,7
Retardé 2002	4,1	16,5	3,2	1,4	3,1	0,1	0,3	2,7
Juin 2003	4,2	16,4	0,8	0,2	4,9	2,4	0,5	2,7
Retardé 2003	3,6	11,4	1,2	0,2	7,4	1,0	0,6	2,7
Moyenne	4,5	14,3	1,5	0,5	7,6	1,7	1,2	1,4
LSD	1,1	2,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
F année*lieu*date*densité					**			

42000, 125000 et 167000 désignent les densités en nombre de plantes par ha

\*\* : significatif au seuil de 1%



Dans notre expérience, cette variable n'est pas très discriminante. Les écarts entre variétés sont relativement faibles. En moyenne, les variétés à grosses capsules, Mar 88-214 et Oultan, sont à peine supérieures aux variétés à petites capsules, Guazuncho II et Irma 772. Elles semblent toutefois se comporter de manière un peu plus régulière aux deux dates de semis et aux différentes densités de culture. Les variations de résultats entre localités sont importantes. Ainsi, Oultan et Irma 772 ont eu de grosses capsules à Okpara (respectivement 4,8 g et 4,4 g contre 4,2 g pour Guazuncho 2, cette variété ayant enregistré les plus petites capsules). A Cana par contre le PMC de ces variétés (Oultan et Irma 772) faisait partie des plus faibles (3,6 g et 3,5 g respectivement contre 3,8 g pour Rockett et S 188 qui ont eu les plus grosses capsules).

Stam 18 A et S 188 ont enregistré les plus grosses capsules en semis de Juin, contrairement à leur performance en semis retardé. L'interaction densité variété n'a pas été significative (Tableau 3-34).

## **g- Pourcentage de capsules portées par les branches végétatives (%CBV)**

### **i. Effet de la date de semis**

Les branches végétatives (BV) contribuent dans une faible proportion, à la production totale du plant. Nous avons exprimé cette contribution en pourcentage de capsules par rapport à la production de capsules totale du plant (%CBV). L'effet de la date de semis a varié selon l'année, le lieu et la densité. En 2002, à l'inverse de Cana, la contribution des branches végétatives a été plus élevée en semis retardé qu'en semis de Juin à Okpara. En 2003, les différences entre dates de semis n'étaient significatives qu'à 42000 plantes par ha où des situations inverses à celle de 2002 ont été enregistrées dans chacun des lieux (Tableau 3-35).

### **ii. Effet de la densité**

A la différence de l'effet de la date de semis, l'effet de la densité a été plus conclusif : quelque soit l'année, le lieu ou la date de semis, plus la plantation est dense, moins la part de la production portée par les branches végétatives était importante (Tableau 3-35). En moyenne par densité, la contribution des branches végétatives à la production capsulaire a été de 11,0%, 1,6% et 0,8% respectivement à 42000, 125000 et 167000 plantes par ha ( $p < 0,0001$ ).

**Tableau 3-36 : pourcentage de capsules sur branches végétatives par variété aux deux dates de semis et aux trois densités**

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	4,7	5,1	4,4		11,3	1,8	1,1	
Guazuncho 2	4,1	4,3	3,8		10,1	1,7	0,5	
H 279-1	5,8	6,7	4,8		12,1	3,5	1,7	
Irma 772	3,3	3,2	3,4		9,2	0,1	0,6	
Irma A 1042	5,9	7,3	4,5	1,8	14,3	2,0	1,3	2,2
Mar 88-214	3,3	3,9	2,8		8,0	1,6	0,5	
Oultan	2,4	3,1	1,8		6,6	0,7	0,0	
Rockett	4,0	5,4	2,5		9,8	1,5	0,6	
S 188	4,6	4,7	4,6		12,3	1,0	0,6	
Stam 18 A	6,3	6,6	6,0		15,9	1,8	1,3	
Moyenne	4,5	5,0	3,9		11,0	1,6	0,8	
CV (%)	28,3	29,1	32,6		25,7	56,9	61,3	
LSD	1,2	1,8	1,8		2,1	2,1	2,1	
F <sup>(1)</sup>	**	*				*		

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

**Tableau 3-37 : Pourcentage cumulé de capsules par position de branche fructifère aux deux dates de semis**

Branche fructifère	Semis de Juin				Semis retardé			
	P1	P2	P3	P>=4	P1	P2	P3	P>=4
BF1	7,1	2,1	0,5	0,2	11,9	2,5	0,5	0,0
BF2	15,1	4,9	1,0	0,4	23,6	5,3	1,3	0,0
BF3	23,7	7,6	1,6	0,7	34,3	8,4	2,0	0,0
BF4	31,8	9,9	2,2	0,9	43,4	11,0	2,6	0,0
BF5	39,5	11,7	2,5	1,1	51,5	12,9	3,0	0,0
BF6	46,7	13,0	2,8	1,4	58,1	14,4	3,2	0,0
BF7	52,3	13,9	3,1	1,6	63,5	15,4	3,3	0,0
BF8	56,6	14,6	3,4	1,8	67,1	16,0	3,4	0,0
BF9	59,8	15,2	3,6	2,0	69,4	16,3	3,4	0,0
BF10	62,1	15,7	3,7	2,0	70,7	16,5	3,5	0,0
BF>=11	63,9	16,0	3,8	2,0	71,5	16,6	3,5	0,0

BF>=11 désigne les branches fructifères au-delà de 10 et P>=4 les positions au-delà de 3

**Tableau 3-38 : Pourcentage cumulé de capsules par position de branche fructifère à faible et à forte densité**

Branche fructifère	42000 plantes par ha				>=125000 plantes par ha			
	P1	P2	P3	P>=4	P1	P2	P3	P>=4
BF1	6,3	3,1	0,8	0,3	13,0	1,3	0,1	0,0
BF2	13,0	6,9	1,8	0,7	26,6	2,9	0,2	0,0
BF3	19,8	10,8	2,9	1,0	39,5	4,5	0,4	0,1
BF4	26,2	14,1	3,8	1,3	50,7	5,9	0,5	0,2
BF5	32,5	16,6	4,4	1,5	60,9	6,9	0,6	0,2
BF6	38,2	18,5	4,7	1,7	69,3	7,6	0,8	0,3
BF7	43,4	19,8	5,0	1,9	75,3	8,2	0,9	0,4
BF8	47,5	20,7	5,2	2,1	79,2	8,6	1,0	0,4
BF9	50,6	21,3	5,4	2,2	81,6	8,9	1,1	0,5
BF10	52,8	21,7	5,5	2,2	83,1	9,2	1,1	0,5
BF>=11	54,2	21,9	5,6	2,3	84,3	9,4	1,2	0,5

BF>=11 désigne les branches fructifères au-delà de 10 et P>=4 les positions au-delà de 3



Les différences entre variétés ont été hautement significatives ( $p < 0,0001$ ). Chez les variétés plus végétatives, Stam 18 A, Irma A 1042, H 279-1 et S 188, ainsi que la variété précoce Chaco 520, les branches végétatives assurent une part un peu plus importante de la production, voisine de 5 à 6% en moyenne. Ce taux monte significativement pour atteindre 12 à 16% à la densité la plus basse et il est pratiquement nul aux densités les plus fortes. Les variétés plus déterminées Mar 88-214, Oultan ainsi que la variété tardive à port plus colonnaire (branches fructifères plus courtes) Irma 772 ont enregistré les taux les plus bas. On ne décèle plus de différences significatives entre variétés en semis retardé et à 167 000 plants/ha, du fait d'une production très faible et encore plus aléatoire ( $CV > 40\%$ ) sur ces branches (Tableau 3-36).

#### **h- Identification des parties les plus chargées en fruits au niveau du plant en fonction des dates de semis et des densités**

Les deux premières positions des branches fructifères sont celles sur lesquelles les chances de trouver une capsule récoltable sont les plus fortes. En semis précoce, on retrouve plus de 70% de la production totale de capsules sur les deux premières positions des huit premières branches fructifères. Dans le cas du semis retardé, ce pourcentage a été atteint dès la 6<sup>ème</sup> branche fructifère sur ces deux mêmes positions. En semis retardé, la production s'installe donc plus bas sur la plante (Tableau 3-37).

Pour atteindre le seuil de 70% de la production d'un plant à faible densité, il faut dénombrer les capsules des deux premières positions des neuf premières branches; à forte densité, ce seuil est plus vite atteint avec les seules premières positions des 7 premières branches fructifères. A forte densité la production est donc plus proche de l'axe principal et plus bas sur le plant qu'à faible densité (Tableau 3-38).

En considérant l'ensemble des itinéraires, les 7 premières branches fructifères enregistrent à elles seules plus de 70% de la production capsulaire; elles représentent de ce fait la partie de la plante sur lesquelles les chances de trouver une capsule récoltable sont les plus fortes (Tableaux 3-37 et 3-38). Nous nous attacherons donc maintenant à étudier les effets des itinéraires techniques sur la production capsulaire de cette partie de la plante (BF 1 à 7) qui supporte la majorité de la production de capsules.

**Tableau 3-39 : Pourcentage de capsules portées par les 7 premières branches fructifères (%CBF1\_7) par date de semis et par densité dans les quatre essais**

Date de semis	Moyenne	Okpara			Cana			LSD
		42000	125000	167000	42000	125000	167000	
Juin 2002	76,3	72,5	87,3	89,9	58,6	76,0	73,2	7,2
Retardé 2002	86,4	74,1	90,7	94,2	82,2	87,2	89,8	7,2
Juin 2003	79,9	68,5	81,5	86,5	77,6	80,3	85,2	7,2
Retardé 2003	92,4	82,3	95,9	96,4	83,6	97,9	98,5	7,2
Moyenne	83,7	74,4	88,8	91,8	75,5	85,4	86,7	3,6
LSD	4,5	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	
F année*lieu*date*densité				**				

42000, 125000 et 167000 désignent les densités en nombre de plantes par ha

\*\*: significatif au seuil de 1%

**Tableau 3-40 : Pourcentage de capsules sur les 7 premières branches fructifères (%CBF1\_7) au deux dates de semis et aux trois densités**

Variété	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes par ha)			LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000	
Chaco 520	87,6	83,6	91,6		77,7	92,2	92,8	
Guazuncho 2	85,4	80,6	90,1		77,1	87,9	91,1	
H 279-1	80,4	73,5	87,3		72,0	82,2	87,1	
Irma 772	79,2	72,1	86,3		70,9	81,5	85,2	
Irma A 1042	82,6	75,9	89,3	4,5	72,2	87,8	87,7	4,9
Mar 88-214	89,7	86,0	93,4		85,4	90,1	93,6	
Oultan	78,9	69,7	88,1		68,7	83,5	84,6	
Rockett	87,2	81,7	92,8		79,6	89,2	92,9	
S 188	84,6	80,7	88,6		76,1	89,0	88,8	
Stam 18 A	81,8	77,1	86,5		69,6	87,5	88,4	
Moyenne	83,7	78,1	89,4		74,9	87,1	89,2	
CV(%)	4,5	6,8	2,8		6,9	4,1	3,6	
LSD	2,6	3,6	3,6		4,4	4,4	4,4	
F <sup>(1)</sup>	**	*			ns			

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis) et interaction densité \* variété (colonne densité)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%



## **i- Pourcentage de capsules présentes sur les 7 premières branches fructifères par rapport au nombre total du capsules du plant (%CBF1\_7)**

### **i. *Effet de la date de semis***

Les contributions des 7 premières branches fructifères ont été plus élevées en semis retardé qu'en semis précoce, mais les différences n'ont pas été significatives à Okpara en 2002 (Tableau 3-39). Les pourcentages de capsules sur les 7 premières branches fructifères faisaient en moyenne 89,4% en semis retardé contre 78,1% en semis à date normale ( $p < 0.0001$ ).

### **ii. *Effet de la densité***

L'accroissement de la densité a également augmenté la concentration des capsules dans les régions basses de la plante. Le pourcentage de capsules sur les branches fructifères 1 à 7 a été en moyenne de 74,7% à 42000 plantes par ha, 87,1% à 125000 plantes par ha et 89,2 % à 167000 plantes par ha ( $p < 0.0001$ ). Entre les deux hautes densités, les différences sont rarement significatives ; le calcul statistique fait apparaître une interaction année \* date de semis \* densité significative ( $p = 0,0213$ ) qui peut s'expliquer par l'absence de différences significatives en date de semis à Okpara en 2002 et par des variations d'écarts entre densités suivant les années (Tableau 3-39)

### **iii. *Effet de la variété***

Cette variable permet de discriminer les variétés dites déterminées c'est-à-dire portant la plupart des capsules sur les premières branches fructifères, en partie basse du plant, des variétés à croissance plus indéterminée. Les variétés pour lesquelles la contribution à la récolte totale des BF 1 à 7 a été la plus forte sont Mar 88-214, Chaco 520 et Rockett. Cette caractéristique est présente aux deux dates de semis et aux différentes densités de semis. Mar 88-214 est particulièrement insensible aux conditions de culture, puisque les cet indice reste supérieur à 85% même à faible densité. Les branches basses contribuent plus faiblement pour les types tardifs à grand développement végétatif Stam 18 A, H 279-1, Irma A 1042, ou pour les variétés à port étroit et en colonne comme Irma 772 et Oultan. Les écarts entre les deux types de variétés sont d'autant plus importants que les semis sont précoces et les densités faibles, conditions dans lesquelles le potentiel génétique de chaque génotype peut s'exprimer librement. En semis retardé, les coefficients de variation ont été plus faibles dans les deux lieux, indiquant que les écarts entre variétés étaient plus étroits. Les variétés à plus faible taux de rétention (H 279-1, Irma A 1042, Irma 772 et Oultan) ont plus amélioré leur taux de rétention en semis retardé que les autres génotypes (Tableau 3-40).

## j- Conclusions

La date de semis a eu des effets importants sur le nombre de capsules par plant et la répartition capsulaire. En semis retardé, les cotonniers produisent moins de capsules par plant même si les différences ne sont pas toujours significatives (Tableau 3-31). La contribution des branches végétatives à la production totale est faiblement affectée par la date de semis (Tableau 3-35). Par contre on constate que le maximum de la production a été localisé plus bas, aux deux premières positions des branches fructifères 1 à 6 en semis retardé, alors qu'en semis précoce il est localisé sur les BF 1 à 8 (Tableau 3-37). L'effet de la date de semis sur le nombre de sites et le taux de rétention est à rapprocher de la régularité de pluies pendant la période de floraison. A Okpara, les taux de rétentions ont été meilleurs en semis normal (Tableau 3-27) avec moins de sites par plant qu'en semis retardé (Tableau 3-25); à Cana, par contre, les taux de rétention étaient meilleurs en semis retardé et moins de sites par plant qu'en semis précoce (Tableau 3-25 et 3-27). A Okpara, la période de floraison du semis à date normale (Août-septembre) correspond à une période régulièrement arrosée, ce qui fait qu'on y enregistre très peu de chute de fleurs ; mais les plants semés tardivement fleurissent souvent dans des périodes où les pluies commencent déjà à se raréfier et à devenir moins régulières (mi-septembre). A Cana, la période de floraison du semis précoce (mi-Août à fin Septembre) coïncide avec une petite interruption des précipitations spécifique du mode de répartition bimodale des pluies au Sud du Bénin (Figure 2- 3); les cotonniers perdent beaucoup d'organes floraux pendant cette période et compensent en produisant davantage de sites fructifères. On en conclue donc que, à Cana comme à Okpara, les dates de semis pour lesquelles les nombres de sites sont plus élevés et les taux de rétention plus faibles (semis à date normale à Cana et semis tardif à Okpara) correspondent aux situations qui conduisent à exposer les cotonniers pendant leur phase de floraison à des pluies irrégulières.

Les effets de la densité sur les variables analysées ont été plus marqués que ceux de la date de semis. Aux fortes densités, les nombres moyens de sites par plant sont plus réduits (Tableau 26-3) et les taux de rétention plus faibles (Tableau 28-3); en conséquence, les nombres moyens de capsules par plant sont plus faibles (Tableau 3-31). La compétition entre plantes pour l'alimentation en eau et en éléments nutritifs et pour l'interception de la lumière est plus forte ; les disponibilités en assimilats par plant sont donc plus faibles ce qui limite la production. Les proportions de capsules sur branches végétatives sont plus réduites (Tableau 3-35) et l'essentiel de la production se retrouve concentrée en premières positions des 7 premières BF (Tableau 3-38). A 42000 plantes par ha, les deux premières positions des 9 premières BF représentaient les parties de la plante privilégiées par les cotonniers pour installer leur production (Tableau 3-37).

Les premières positions de branches fructifères ont contribué pour plus de 70% en moyenne à la production capsulaire (Tableau 3-37 et 3-38); la contribution des sites fructifères à la production de capsules diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la tige principale, avec des proportions pratiquement nulles sur les positions extrêmes des branches fructifères, c'est-à-dire les positions 3 et plus.

Les deux premières positions des 7 premières branches fructifères représentent la région du plant préférée par le cotonnier pour installer l'essentiel de la production capsulaire



(Tableau 3-37 et 3-38). La production dans cette portion de la plante discrimine bien les génotypes testés, avec un pourcentage de capsules plus important sur les 7 premières branches fructifères chez les variétés plus précoces et compactes (en particulier Mar 88-214, Chaco 520 et Rockett) que chez les autres génotypes (Tableau 3-40).

La contribution moyenne des branches végétative à la production a été partout faible et particulièrement sur les génotypes plus précoce Mar 88-214, Oultan, Chaco 520 et Guazuncho 2 que sur les variétés tardives Irma A 1042, Stam 18 A, H 279-1 et S 188 (Tableau 3-36).

Les résultats permettent de mieux décrire les génotypes testés puisque les variables étudiées discriminent fortement ces génotypes. Pour réaliser leurs performances en composantes du rendement, nombre de capsules et poids moyen capsulaire, les variétés semblent suivre des stratégies différentes.

La variété Okra **S 188** produit un nombre faible de capsules par plant, résultant d'un nombre moyen de sites fructifères et d'un faible taux de rétention capsulaire globale; elle retient moyennement de capsule en première position. Même si sa charge en capsules reste inférieure aux meilleures variétés, S 188 résiste assez bien aux fortes densités, la contribution de ses branches végétatives et des premiers sites fructifères à la production totale a été importante. Heitholt (1993) trouvaient que les variétés à feuilles Okra développaient plus de sites que les types à feuilles normales, mais avaient trouvé comme nous que les taux de rétention étaient plus faibles; la différence avec nos résultats pour le nombre de sites pourrait provenir des différences de variabilité de matériel mis en comparaison dans les deux travaux.

Les deux variétés africaines **Stam 18 A** et **H 279-1** ont une floraison abondante, elles parviennent à produire de nombreux sites mais avec toutefois une faible capacité de rétention capsulaire globale qui contraste avec une forte capacité de rétention en première position. Leur importante croissance végétative se traduit notamment par une contribution inférieure des branches basses et supérieure des branches végétatives. Leur niveau de performance est élevé dans toutes les situations, un peu meilleur toutefois en condition de semis précoce et à faible densité. Cela traduit leur aptitude à compenser les pertes d'organe fructifères en cas de stress.

La variété **Irma A 1042** présente des caractéristiques proches des deux variétés précédentes. Particulièrement performante en semis précoce et à faible densité, en compensant un nombre moyen de sites par un taux de rétention global élevé, elle résiste moins bien que H 279-1 aux variations culturales. Elle retient bien les capsules en première position de branche fructifère.

**Mar 88 214** est une variété particulièrement déterminée. Elle compense un faible nombre de sites, par une rétention globale élevée et un PMC un peu supérieur. Elle retient moins bien de capsules en première position. Sa production est concentrée sur les parties basses de la plante avec toutefois une contribution faible des branches végétatives. Produisant un faible nombre de capsules par plant en semis précoce, son résultat s'améliore en semis tardif. En revanche, les fortes densités n'améliorent pas ses performances.

**Chaco 520** et **Rockett** sont aussi parmi les plus déterminées. Elles développent un nombre de sites moyen avec des taux de rétention globale faible à moyen. Elles donnent

par conséquent une production capsulaire moyenne, avec une forte contribution des parties basses du plant et une participation peu importante, mais non négligeable des branches végétatives. Elles présentent un taux de rétention élevé en première position de branche fructifère.

La variété **Guazuncho 2** a un potentiel de production de capsules proche de celui des meilleures variétés africaines. Elle atteint ce résultat grâce à un nombre de sites fructifères moyen et à un fort taux de rétention capsulaire globale et en première position de branche fructifère. Les autres variables montrent que Guazuncho 2 est intermédiaire entre les groupes déterminés et africains : ses branches végétatives mais également ses branches fructifères basses contribuent significativement à sa performance. Au final, Guazuncho II est remarquablement productif en semis retardé et il ne répond pas particulièrement bien à l'augmentation de la densité de semis.

**Oultan et Irma 772** sont deux variétés étroites, de tendance *cluster*, et dont le port est proche d'une colonne. Leur développement est peu déterminé et leur potentiel de production de capsules faible, y compris aux fortes densités, en particulier pour Oultan qui porte trop peu de sites. Leurs branches végétatives contribuent faiblement à la production totale. Enfin, leurs branches courtes ne semblent pas représenter un avantage même en condition de forte densité et de compétition.



**Tableau 3-41 : Rendement par date de semis dans les deux lieux et aux deux années**

Date de semis	Moyenne	Saison		Lieu	
		2002	2003	Cana	Okpara
<b>Juin</b>	1687	1634	1741	1184	2191
<b>Retardé</b>	1243	1347	1140	965	1522
<b>Moyenne</b>	1465	1490	1440	1075	1856
<b>LSD</b>	143	202	202	202	202
<b>F<sup>(1)</sup></b>	**	*		**	

<sup>(1)</sup>: Les tests F portent respectivement sur les effets date de semis (colonne moyenne), interaction année\*date de semis(colonne année) et interaction lieu\*date de semis (colonne lieu)

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

### **3.2.4- RENDEMENT EN COTON GRAINE**

#### **a- Introduction**

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les géotypes performants en fonction des itinéraires techniques testés. Nous étudierons pour cela les rendements en coton graine ainsi que la régularité de ces rendements en fonction des dates de semis et des densités. Et, à la lumière des observations des chapitres précédents dans lesquels nous avons étudié les caractères de morphogenèse et les différentes composantes de ce rendement, nous discuterons l'hypothèse posée au départ de ce travail.

#### **b- Effet du site**

En 2002 comme en 2003, les rendements en coton-graine ont été significativement plus élevés à Okpara (1734 et 1968 kg/ha) qu'à Cana (1237 et 913 kg/ha). Les niveaux respectifs de précipitations utiles (<500mm à Cana et >700mm à Okpara), et leur répartition au cours du cycle, plus irrégulière à Cana, expliquent probablement une grande part de cet écart de rendement. Le sol d'Okpara, de type ferrugineux, est également plus fertile que celui de Cana, ferralitique et de granulométrie grossière. L'année 2003 a été notablement plus défavorable au site de Cana. Ces différences de condition de milieu ont fait que l'interaction année x lieu a été hautement significative ( $p < 0,0001$ ).

#### **c- Effet de la date de semis**

Quelque soit la saison ou le lieu les rendements ont été significativement plus faibles en semis retardé qu'en semis de Juin. On peut aussi noter que la différence de rendement entre dates de semis, en faveur du semis de juin, est passée du simple en 2002 au double en 2003. Elle passe également du simple à Cana au triple à Okpara où le rendement est toujours meilleur (Tableau 3-41). L'effet de la date de semis a ainsi été hautement significatif ( $F=51,50$  ;  $p < 0,0001$ ), mais également son interaction avec l'année ( $F=6,42$  ;  $p=0,0351$ ) et le lieu ( $F=13,23$  ;  $p=0,0066$ ).

Les pertes de rendement en semis tardif ont été plus faibles sur les variétés de type « américain », Mar 88-214, Rockett, Chaco 520 et Guazuncho 2, ainsi que sur la variété Oultan comparées aux variétés à fonds génétique « africain » Stam 18A, H 279-1, Irma A 1042 et S 188. Mar 88-214 fait partie des variétés productives en semis tardif, alors qu'elle appartenait au groupe des moins productives en semis précoce. Toutefois, les variétés H 279-1, Stam 18 A, et Guazuncho 2, productives à date normale de semis, le



Tableau 3-42 : Rendement moyen des variétés dans les différents itinéraires techniques

Variétés	Moyenne	Date de semis		LSD	Densité (plantes / ha)			LSD	Juin	Retardé	LSD
		Juin	Retardé		42000	125000	167000				
Chaco 520	1405	1621	1190		1288	1445	1483		1534	1291	
Guazuncho 2	1583	1829	1336		1524	1575	1649		1898	1446	
H 279-1	1669	2052	1286		1603	1748	1655		2060	1316	
Irma 772	1316	1530	1102		1370	1295	1283		1740	1184	
Irma A 1042	1527	1826	1227	160	1511	1532	1537	143	1901	1318	226
Mar 88-214	1444	1539	1350		1306	1528	1499		1452	1406	
Oultan	1203	1231	1176		1157	1251	1203		1322	1221	
Rockett	1428	1589	1267		1334	1443	1507		1497	1350	
S 188	1446	1717	1175		1331	1510	1497		1691	1271	
Stam 18 A	1633	1940	1326		1643	1625	1630		1988	1381	
Moyenne	1465	1687	1243		1407	1495	1494		1708	1318	
LSD	66	93	93		114	114	114		162	162	
CV (%)	9,7	14,1	6,6		11,1	9,8	10,0		14,7	6,2	
F <sup>(1)</sup>	**	**				**			ns		

(1): Les tests F portent respectivement sur les effets variétés(colonne moyenne), interaction date de semis \* variété (colonne date de semis), interaction densité \* variété (colonne densité), date\*densité\*variété

\*, \*\*: moyennes significativement différentes au seuil de 5% et 1% respectivement

ns: moyennes non significativement différentes au seuil de 5%

restent en semis retardé, avec un niveau de rendement comparable à celui de Mar 88-214. C'est moins vrai pour Irma A 1042 et S 188 qui se comportent nettement moins bien en semis retardé. Au final, Oultan et Irma 772 ont été les moins productives aux deux dates de semis (Tableau 3-42). Les analyses de variance ont ainsi mis en évidence une interaction date de semis x variété hautement significative (test  $F=19,66$  ;  $p<0,0001$ ).

#### **d- Effet de la densité**

Les différences entre 42000 plantes par ha et 167000 plantes par ha n'ont été significatives que pour les variétés Chaco 520, Mar 88-214, Rockett et S 188. Ces variétés, à croissance plus déterminée (à l'exception de S 188) que les autres, ont été plus productives aux fortes densités (Tableau 3-42). L'effet global de la densité n'a pas été significatif ( $F=2,27$  et  $p=0,1193$ ) ; mais l'interaction densité x variété a été hautement significative ( $F=2,03$  et  $p=0,0076$ ).

#### **e- Effet de la variété**

Les meilleures performances sont obtenues avec les variétés H 279-1, Stam 18A, Irma A 1042, Guazuncho 2 et S 188, semées précocement ou à la densité la plus faible. En semis tardif, les rendements moyens de toutes les variétés chutent. Les meilleures variétés en semis de juin restent les meilleures en semis retardé, mais les écarts avec les autres variétés s'estompent, en particulier avec Mar 88-214 et Rockett (Tableau 3-42).

Les deux dernières colonnes du tableau 3-42 résument la comparaison des deux itinéraires techniques extrêmes : celui qui a fourni les meilleurs rendements (semis de juin, densité faible), et celui qui a fourni les rendements les plus faibles (semis retardé, densité maximale). Les variétés Guazuncho 2, Stam 18A et H 279-1 sont restées dans le groupe de tête dans toutes les situations.

#### **f- Régularité du rendement des variétés aux deux dates de semis**

Suivant la méthode décrite dans le chapitre 2, les performances d'une variété dans chaque situation expérimentale sont classées en fonction de leur écart au rendement maximal. Pour les deux dates de semis, chaque variété est ainsi classée 12 fois (tableau 3-43).

En croisant les comportements aux deux dates de semis, les variétés peuvent être classées en 6 groupes de comportement différent :

- H 279-1 et Stam 18 A apparaissent toujours dans les classes supérieures de rendement, mais de manière plus soutenue en semis précoce et plus irrégulière en semis tardif ;



**Tableau 3-43 : Nombre de moyennes observées dans chaque classe de rendement en fonction de la date de semis**

Variété	Semis précoce			Semis tardif		
	>90%	>75%	<75%	>90%	>75%	<75%
Chaco 520	-	6	6	-	9	3
Guazuncho 2	6	5	1	6	6	-
H 279-1	11	-	1	6	3	3
Irma 772	1	5	6	1	4	7
Irma A 1042	5	6	1	3	5	4
Mar 88-214	-	3	9	7	5	-
Oultan	-	-	12	2	5	5
Rockett	-	7	5	4	7	1
S 188	3	8	1	3	7	2
Stam 18 A	9	3	-	6	4	2

**Tableau 3-44 : Nombre de moyennes observées dans chaque classe de rendement en fonction de la densité**

Variété	42000 plantes par ha			≥125000 plantes par ha		
	>90%	>75%	<75%	>90%	>75%	<75%
Chaco 520	-	3	5	-	12	4
Guazuncho 2	5	2	1	7	8	1
H 279-1	5	1	2	12	2	2
Irma 772	2	3	3	-	6	10
Irma A 1042	4	2	2	4	9	3
Mar 88-214	2	3	3	5	5	6
Oultan	-	2	6	2	3	11
Rockett	1	5	2	3	9	4
S 188	3	1	4	2	14	-
Stam 18 A	7	1	-	8	6	2

- Guazuncho 2 se comporte aussi bien en semis précoce qu'en semis tardif, se classant chaque fois dans les deux premières catégories de rendement ;
- Le comportement d'Irma A 1042 est voisin de celui des variétés précédentes, mais de façon plus erratique ;
- S 188 groupe aux deux dates de semis une partie majoritaire de ses performances dans la classe intermédiaire ;
- Chaco 520 et Rockett classent une majorité de leurs performances dans les deux classes basses en semis précoce et dans la classe intermédiaire en semis tardif ;
- Enfin, quelles que soient les périodes de semis, on retrouve Irma 772 et surtout Oultan régulièrement dans les dernières classes de rendement.

Ces résultats montrent que les variétés H 279-1 et Stam 18 A plus stables dans les classes de rendement supérieur en semis à date normale perdent leur stabilité en semis retardé et se retrouvent réparties dans toutes les classes de rendement. La variété Mar 88-214 qui était plutôt plus régulière dans la classe des rendements inférieurs se retrouve plus représentée dans les deux premières classes de rendement en semis retardé. C'est aussi les cas de Rockett et Chaco 520 qui basculent d'une forte représentativité dans les deux premières classes de rendement en semis à date normale à une plus grande représentativité dans la classe moyenne en semis tardif. Guazuncho 2 est resté répartie dans les deux premières classes de rendement aux deux dates de semis.

## **g- Régularité de rendement en fonction des densités**

Les différences entre 125000 et 167000 plantes par ha n'étant pas significatives, nous avons comparé au tableau 3-44 la répartition des performances des variétés entre basse densité (8 situations) et forte densité (16 situations).

Les variétés répondent autant aux variations de densité qu'aux variations de dates de semis et on peut également distinguer 5 groupes de comportement différent :

- Guazuncho 2, H 279-1 et Stam 18 A sont majoritairement représentées dans les classes supérieures de rendements quelles que soient la densité de culture ; Stam 18A semble toutefois plus constant aux basses densités et H 279-1 aux densités plus fortes ;
- Irma A 1042 est très irrégulière, avec une fréquence un peu plus élevée dans la classe supérieure de rendement à faible densité et dans la classe intermédiaire à forte densité ;
- Rockett et Mar 88-214 sont susceptibles d'occuper toutes les classes à la densité la plus faible, mais elles se stabilisent dans la classe intermédiaire lorsque la densité augmente ;



- Irma 772, S 188 et Chaco 520 se comportent médiocrement aux deux densités, un peu mieux toutefois à faible densité pour la première et à la forte pour les deux autres ;
- Enfin, Oultan reste stable et confiné aux classes les moins performantes quelle que soit la densité.

A 42000 plantes par ha, toutes les variétés, à l'exception de Stam 18 A présentent des risques de faire des rendements inférieurs à 75% du potentiel réalisé par la meilleure d'entre elles. Les géotypes Chaco 520, et Oultan n'avaient aucune chance de franchir les 90% du potentiel. Parmi elles, Oultan apparaît la moins performante.

On peut observer en croisant les deux densités que Irma 772 et Irma A 1042 ont tous les deux baissé de performance en semis retardé tout en devenant un peu moins variables ; Chaco 520 a amélioré sa performance et est devenu un peu moins variable tandis que Guazuncho 2, H 279-1 et Stam 18 A sont restées pratiquement classées de la même façon qu'à faible densité.

## h- Conclusions

Les rendements de toutes les variétés sont plus faibles en semis retardé qu'en semis à date normale.

Deux variétés, parmi les plus végétatives, H 279-1 et Stam 18A, sont les plus productives tant en semis précoce qu'en semis tardif. Toutefois, les différences entre ces géotypes et les variétés précoces à port compact et à faible développement végétatif (Oultan, Mar 88-124, Rockett) se sont fortement réduites en semis retardé. Une variété précoce (Mar 88-124) parvient même à égaler les niveaux de rendement des meilleures variétés africaines. Guazuncho 2, une variété à développement végétatif et à durée de cycle intermédiaires entre les types africains (H 279-1 et Stam 18 A) et Mar 88-214 a été performant dans toutes les situations. En revanche, Irma 1042 et S188, variétés végétatives ont un potentiel de rendement considérablement diminué.

Cependant, même si les variétés plus indéterminées H 279-1 et Stam 18 A ont été performantes aux deux dates de semis, les études de régularité de rendement ont prouvé qu'en semis tardif, elles étaient beaucoup plus irrégulières que Mar 88-214 et Guazuncho 2, avec des moyennes se répartissant aussi bien dans les basses classes de rendement que dans les meilleures classes ; cela suppose qu'elles étaient capables du meilleur comme du pire. Mar 88-214 et Guazuncho 2 paraissaient moins variables en conditions de semis tardif. Le type variétal H 279-1 ou Stam 18 A est donc un peu plus risqué en semis retardé que les types variétaux Mar 88-214 et Guazuncho 2.

Dans nos conditions d'expérience, les variétés les plus végétatives (H 279-1, Stam 18A, IRMA A 1042) sont restées supérieures aux autres à toutes les densités de culture, mais leur potentiel de production n'a pas autant profité de l'augmentation de densité. Toutes les variétés ont produit un peu plus aux fortes densités de culture, mais les types déterminés à faible développement végétatif (Mar 88-214, Chaco 520, Rockett et dans

une moindre mesure Gazuncho 2) et la variété S 188 à feuille Okra (feuille très découpée) les ont mieux valorisées.

En définitive, nous avons vu que la date de semis produit moins d'effet que la densité sur la morphologie des variétés, mais davantage sur leur rendement. Le rendement de toutes les variétés baisse sous l'effet d'un retard au semis. Mais la réduction de rendement est plus marquée chez les variétés tardives à fort développement végétatif que chez les variétés plus déterminées et plus compactes. Les écarts entre variétés s'estompent donc, même si les meilleurs restent celles qui sont de type végétatif, dans les conditions de date de semis et de densités qui ont été testées. Aux fortes densités, chaque cotonnier produit moins de végétation et le rendement de la culture est amélioré. Les variétés à grand développement végétatif subissent davantage l'impact de la compétition, leur appareil végétatif se réduit plus que chez les types plus compacts (longueur des branches végétatives, nombre de sites fructifères par plant). Ceci leur permet probablement d'améliorer l'efficacité d'utilisation des assimilats et de garder leur avantage comparatif en rendement au champ dans tous les itinéraires techniques testés.



### **3.3- ETUDE SYNTHÈSE : STRATÉGIES DE MISE EN PLACE DE LA PRODUCTION ET CRITÈRES DE SÉLECTION**

#### **3.3.1- INTRODUCTION**

Ce chapitre est chargé de mettre en perspective les résultats présentés dans les chapitres précédents et de donner de la cohérence à l'ensemble de la thèse. En croisant les typologies partielles dressées à la fin de chaque chapitre, il vise à proposer une stratégie de sélection, ciblée par rapport à des contraintes d'itinéraire technique en tentant de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les stratégies variétales qui optimisent le rendement dans les différentes situations ? Comment traduire ces stratégies en critères de sélection ? Et enfin, comment optimiser l'utilisation de ces critères dans un dispositif global de sélection ?

Pour répondre à ces questions, nous avons procédé par étapes :

- Nous avons croisé les moyennes génétiques des variables analysées dans les chapitres précédents pour réaliser une description complète des différentes stratégies de mise en place de la production étudiées. Croisée avec les résultats de rendement, cette description nous a permis de caractériser les stratégies performantes en rendement dans les différents itinéraires testés.
- Nous avons ensuite recherché, parmi les variables descriptives, la combinaison de critères qui discrimine le mieux ces stratégies.
- Nous avons enfin calculé les héritabilités de ces critères pertinents dans les différents itinéraires techniques. Ceci nous a permis de discuter des stratégies de sélection correspondant aux trois idéotypes variétaux que nous avons identifiés comme particulièrement productifs dans les conditions de l'expérimentation.

#### **3.3.2- DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES VARIÉTÉS TESTÉES**

Les chapitres précédents ont permis de dresser une typologie rapide des variétés suivant trois séries de critères. Des critères de type phénologique caractérisant la dynamique de développement des sites fructifères, des critères de type morphologique et des critères type fonctionnel, liés à la répartition des sites et à leur transformation en capsules.

Les variétés se différencient bien les unes des autres lorsqu'on croise la précocité (PFM) et durée de floraison (TFU). On obtient ainsi un groupe majoritaire de 7 variétés, pour lesquelles la durée de floraison est liée à la date d'entrée en floraison, un second groupe de variétés qui ont une durée de floraison raccourcie et une variété, Oultan, qui allie précocité et durée de floraison utile.

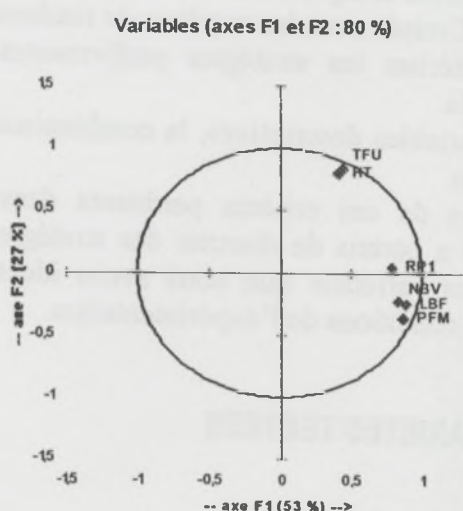
Elles se différencient également au plan morphologique, en deux groupes caractérisés par un développement végétatif homogène en taille, en longueur de branches fructifères

**Tableau 3-45 : Moyenne génétique en semis précoce à densité normale : valeurs structurantes pour l'ACP**

HT=hauteur du plant, NBV=nombre de branches végétatives, LBF=longueur de branche fructifère, PFM=date moyenne d'apparition de la première fleur, TFU=temps de floraison utile, RP1=taux de rétention en première position de branche fructifère

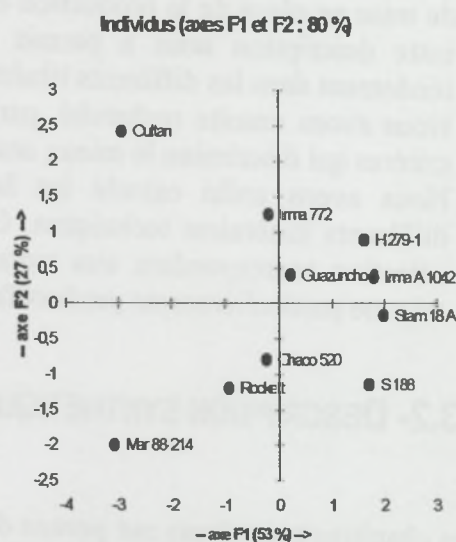
Variété	HT cm	NBV	LBF cm	PFM jal	TFU jours	RP1 %
Chaco 520	78,9	1,3	28,3	56,6	26,0	54,0
Guazuncho 2	88,4	1,2	33,8	55,8	29,7	53,8
H 279-1	97,3	1,7	39,5	57,5	33,2	51,3
Irma 772	109,1	1,0	31,7	57,6	29,9	48,2
Irma A 1042	104,3	1,7	38,0	58,3	29,4	53,0
Mar 88-214	65,5	1,0	25,4	55,2	21,4	43,4
Oultan	110,3	1,0	12,4	52,6	29,7	44,9
Rockett	79,3	1,4	29,0	56,8	24,8	47,3
S 188	100,0	2,0	36,2	60,3	24,9	50,2
Stam 18 A	100,9	2,1	35,3	59,3	28,7	51,6
Moyenne	93,4	1,4	30,9	57,0	27,8	49,8
CV (%)	15,9	28,9	25,6	3,8	12,3	7,4
LSD	2,5	0,3	1,2	0,6	2,5	1,8
F	**	**	**	**	**	**

\*\* : différences significatives à 1%



**Figure 3-12 : Analyse en Composantes Principales : relation entre variables**

HT=hauteur du plant, NBV=nombre de branches végétatives, LBF=longueur de branche fructifère, PFM=date moyenne d'apparition de la première fleur, TFU=temps de floraison utile, RP1=taux de rétention en première position de branche fructifère



**Figure 3-13 : Analyse en Composantes Principales : relation entre individus**



et végétatives, et un troisième représenté surtout par Oultan, caractérisé par un port élané, étroit et en colonne.

Enfin, en croisant le nombre de sites et le taux de rétention de capsules sur ces sites, on obtient plusieurs groupes de classement qui diffèrent par le nombre de sites produits par la floraison, particulièrement abondante pour Stam 18 A et H 279-1 par exemple, et le taux de rétention en position 1, maximal pour Guazuncho II, Chaco 520, H 279-1 ou Irma A 1042.

Ces critères jugés discriminants (tableau 3-45) ont été repris et utilisés ensemble dans une analyse en composantes principales pour construire une typologie objective des variétés.

L'analyse en composante principale a donné une structuration de la variabilité qui permet de décrire les stratégies de mise en place de la production. Les deux axes décrivent 80% de la variabilité totale, L'axe 1 décrivant 53% et l'axe 2 27% (Figure 3-12).

L'axe F1 est bien corrélé à la longueur de branche fructifère (LBF), au nombre de branches végétatives (NBV), à la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM) et taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1). Il peut être qualifié d'axe de précocité et de « vigueur horizontale ».

L'axe 2 est essentiellement corrélé avec la taille (HT) et la durée de floraison (TFU). C'est plutôt un axe de « vigueur verticale ».

La projection des coordonnées variétales sur ce repère, montre l'opposition des génotypes tardifs à grand développement végétatif, H 279-1, Stam 18 A et Irma A 1042, au génotype plus déterminé et plus compact Mar 88-214, en passant par des types intermédiaires comme Guazuncho 2 proche du groupe H 279-1 et Rockett ou Chaco 520 plus proche de Mar 88-214 (Figure 3-13).

L'axe F2 oppose, quant à lui, Irma 772 à port élané et à durée de cycle relativement long à Chaco 520 et Rockett de taille réduite et de durée de floraison relativement courte.

On distingue enfin la variété Oultan dont la position traduit le port colonnaire (forte vigueur verticale et faible vigueur horizontale).

Des critères complémentaires viennent compléter la description réalisée dans cette typologie (tableau 3-46)

La variété Okra S 188 est un génotype tardif à grand développement végétatif. Elle produit un nombre faible de capsules par plant, résultant d'un nombre moyen de sites fructifères et d'un faible taux de rétention capsulaire; même si sa charge en capsules reste inférieure aux meilleures variétés, S 188 résiste assez bien aux fortes densités, la contribution de ses branches végétatives et des premiers sites fructifères à la production totale a été importante (Tableau 3-46).

Les deux variétés africaines **Stam 18 A et H 279-1** ont une floraison abondante, elles parviennent à produire de nombreux sites mais avec toutefois une bonne capacité de rétention capsulaire en position 1. Leur importante croissance végétative se traduit

**Tableau 3-46 : Moyenne génétique : variables complémentaires**

NN=nombre de nœuds, HT=hauteur du plant, HNR="height to node ratio"(longueur d'entre-nœud"), LBV=longueur de branche végétative, SPP=nombre de sites par plant, RG=taux de rétention sur l'ensemble du plant, CPP=nombre de capsules par plant, PMC=poids moyen capsulaire, CBV=nombre de capsules par plant (en %), CBF1-7=nombre de capsules sur les 7 premières branches fructifères (en %)

Variete	NN	HNR	LBV	SPP	RG	CPP	PMC	CBV	CBF1_7
			cm		%		g	%	%
<b>Chaco 520</b>	15,3	4,3	24,5	27,4	25,7	6,6	4,0	4,7	87,6
<b>Guazuncho 2</b>	16,0	4,5	32,5	28,6	29,3	8,1	3,9	4,1	85,4
<b>H 279-1</b>	17,7	4,7	35,3	34,3	24,9	8,2	4,0	5,8	80,4
<b>Irma 772</b>	18,6	4,8	29,8	28,5	24,7	6,7	3,9	3,3	79,2
<b>Irma A 1042</b>	17,4	5,0	35,6	30,2	28,2	8,2	4,0	5,9	82,6
<b>Mar 88-214</b>	15,2	3,8	22,9	27,1	25,8	6,4	4,2	3,3	89,7
<b>Oultan</b>	16,6	5,2	34,4	20,9	29,8	5,7	4,2	2,4	78,9
<b>Rockett</b>	15,7	4,2	26,9	28,5	26,7	7,0	4,1	4,0	87,2
<b>S 188</b>	16,1	5,1	32,7	28,9	24,3	6,4	4,1	4,6	84,6
<b>Stam 18 A</b>	17,8	4,9	34,9	33,6	24,2	7,7	4,1	6,3	81,8
<b>Moyenne</b>	16,6	4,6	30,9	28,8	26,4	7,1	4,0	4,5	83,7
<b>CV (%)</b>	7,0	9,7	15,2	12,8	7,8	12,3	2,6	28,3	4,5
<b>LSD</b>	0,4	0,1	2,8	2,2	1,2	0,5	0,1	1,2	2,6
<b>F</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**

\*\* : différences significatives à 1%



notamment par une contribution inférieure des branches basses et supérieure des branches végétatives (Tableau 3-46). Leur niveau de performance est élevé dans toutes les situations, un peu meilleur toutefois en condition de semis précoce et à faible densité (Chapitre 3.2.4-, Tableau 3-42). Cela traduit leur aptitude à compenser les pertes d'organes fructifères en cas de stress.

La variété **Irma A 1042** présente des caractéristiques proches des deux variétés précédentes. Particulièrement performante en semis précoce et à faible densité (Chapitre 3.2.4-, Tableau 3-42), en compensant un nombre moyen de sites par un taux de rétention global élevé (Tableau 3-46), elle résiste moins bien que H 279-1 aux variations culturales.

**Mar 88 214** est une variété particulièrement déterminée. Elle compense un faible nombre de sites concentrés sur les parties basses de la plante, par une rétention globale élevée et un PMC un peu supérieur (Tableau 3-46). Mal classée en semis précoce, son résultat s'améliore et devient honorable en semis tardif. En revanche, les fortes densités n'améliorent pas ses performances (Chapitre 3.2.4-, Tableau 3-42).

**Chaco 520 et Rockett** sont aussi parmi les plus déterminées. Elles développent un nombre de sites plus faible que les autres variétés. Elles donnent par conséquent une production capsulaire moyenne, avec une forte contribution des parties basses du plant et une participation peu importante, mais non négligeable des branches végétatives (Tableau 3-46).

La variété **Guazuncho 2** a un potentiel de production de capsules proche de celui des meilleures variétés africaines. Il atteint ce résultat grâce à un nombre de sites fructifères moyen et à un fort taux de rétention capsulaire. Les autres variables montrent que Guazuncho 2 est intermédiaire entre les groupes déterminés et africains : ses branches végétatives mais également ses branches fructifères basses contribuent significativement à sa performance (Tableau 3-46). Au final, Guazuncho II est remarquablement productif en semis retardé et il ne répond pas particulièrement bien à l'augmentation de la densité de semis (Chapitre 3.2.4-, Tableau 3-42).

**Oultan et Irma 772** sont deux variétés étroites, de tendance *cluster*, et de port colonnaire. Leur développement est peu déterminé et leur potentiel de production de capsules faible, y compris aux fortes densités, en particulier pour Oultan qui porte trop peu de sites. Leurs branches végétatives contribuent faiblement à la production totale (Tableau 3-46). Enfin, leurs branches courtes ne semblent pas représenter un avantage même en condition de forte densité et de compétition (Chapitre 3.2.4-, Tableau 3-42).

### 3.3.3- LES STRATEGIES VARIETALES LIEES A LA PRODUCTION

L'analyse des performances, réalisée au chapitre 3.2.4-, a montré que suivant les situations de culture, plusieurs combinaisons de caractères peuvent être performantes :

- le type H 279-1 (ou Stam 18A) présente un bon niveau de rendement en semis précoce comme en semis tardif, la régularité de performance étant toutefois meilleure en semis précoce ;

**Tableau 3-47 : Critères descriptifs de trois types adaptés à différentes situations explorées par l'expérimentation et d'un type non adapté.**

Situations favorables		Type	Taille et branches fructifères			Branches végétatives		Floraison et rétention		
Semis	Densité		HT	HNR	LBF	NBV	LBV	PFM	TFU	RPI
Plutôt précoce	Plutôt espacée	<b>H 279-1</b>	+	+	+	+	+	+	+/++	=/+
Date indifférente	Indifférente	<b>Guazuncho 2</b>	=	-	=	-/=	=	=	+	+
Tardif	Forte	<b>Mar 88-214</b>	-	--	-/=	-	-	--	-	-
Aucune	Aucune	<b>Oultan</b>	+	+	--	-	+	--	+	--

++ : très élevé ; + : élevé ; = : moyen ; - : faible ; -- : très faible



- le type Mar 88-214 se comporte bien en semis tardif et à forte densité de culture ;
- enfin, le type Guazuncho II assure un niveau suffisant de productivité dans toutes les conditions.

En revanche, le type en colonne, représenté par Oultan et dans une moindre mesure Irma 772 est toujours pris en défaut.

Le rapprochement de ces types ou « stratégies » avec les descriptifs réalisés dans le paragraphe précédent permet de construire le tableau 3-47.

Les critères de sélection retenus dans cette typologie ACP à savoir HT, NBV, LBF, PFM, TFU et RP1 permettent donc de distinguer trois stratégies également intéressantes mais dans des situations différentes. Ils permettent aussi de décrire une stratégie perdante.

Le type H 279-1 est morphologiquement proche du type S 188 et surtout des types Stam 18A et Irma A 1042, légèrement moins performants en semis retardé. S 188 se distingue essentiellement par la forme laciniée de ses feuilles (Okra). Stam 18A est un peu plus grand et Irma A1042 a moins de branches végétatives et des entrenœuds plus longs. Le sélectionneur s'attachera donc à éviter que le matériel génétique produit pour cet objectif de sélection ait une taille trop importante, des entrenœuds trop longs, une surface foliaire réduite et trop peu de branches végétatives. Dans ces conditions de semis précoce et de faible densité, IRMA A1042 et Stam 18A peuvent ainsi figurer comme des témoins bornant l'idéotype H 279-1.

Le type Guazuncho II est assez proche de Chaco 520 et de Rockett. Ces deux derniers génotypes se différencient par une durée de floraison (TFU) inférieure, des branches fructifères (LBF) et des branches végétatives (LBV) plus courtes. Tout en restant au voisinage du type Guazuncho, le sélectionneur s'attachera donc à éviter une dérive trop végétative ou au contraire trop fructifère du matériel génétique sélectionné. Dans le programme correspondant de sélection, on pourra considérer H 279-1 d'une part et Chaco 520 comme des témoins bornant l'évaluation du matériel génétique autour de l'idéotype Guazuncho II.

Mar 88-214 est bien distinct de toutes les autres variétés. Les critères retenus pour l'ACP suffisent pour le discriminer et le caractériser.

### 3.3.4- HERITABILITE DES CRITERES PERTINENTS ET STRATEGIES DE SELECTION

Nous avons ainsi retenu 8 critères qui nous ont paru structurants par rapport aux différences de performances en production des variétés testées. Ces critères sont donc la taille de la plante (HT), la hauteur des entrenœuds sur la tige principale (HNR), la longueur des branches fructifères (LBF), le nombre et la longueur des branches végétatives (NBV et LBV), la date moyenne d'apparition de la première fleur (PFM), le temps de floraison utile (TFU) et le taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1).

**Tableau 3-48 : Héritabilité au sens large des caractères liés à la production et intervalles de confiance associés**

HT=hauteur du plant, HNR="height to node ratio"(longueur d'entre-nœud"), NBV=nombre de branches végétatives, LBV=longueur de branche végétative, LBF=longueur de branche fructifère, PFM=date moyenne d'apparition de la première fleur, TFU=temps de floraison utile, RP1=taux de rétention en première position de branche fructifère.

Variables	Héritabilité niveau plant		Héritabilité niveau parcelle	
	semis de juin, faible densité	semis retardé, forte densité	semis de juin, faible densité	semis retardé, forte densité
	h2 (min.-max.)	h2 (min.-max.)	h2 (min.-max.)	h2 (min.-max.)
<b>HT</b>	<b>0,55</b> (0,31-0,80)	<b>0,49</b> (0,24-0,73)	<b>0,78</b> (0,57-0,99)	<b>0,72</b> (0,47-0,97)
<b>HNR</b>	<b>0,45</b> (0,20-0,71)	<b>0,44</b> (0,18-0,69)	<b>0,73</b> (0,48-0,98)	<b>0,68</b> (0,40-0,96)
<b>LBV</b>	0,14 (0,00-0,33)	0,14 (0,01-0,38)	0,34 (0,04-0,75)	0,25 (0,08-0,57)
<b>LBF</b>	<b>0,48</b> (0,20-0,74)	<b>0,36</b> (0,21-0,59)	<b>0,76</b> (0,54-0,99)	<b>0,65</b> (0,35-0,95)
<b>NBV</b>	0,19 (0,03-0,38)	0,11 (0,01-0,26)	<b>0,50</b> (0,28-0,87)	0,28 (0,05-0,68)
<b>PFM</b>	-	-	<b>0,60</b> (0,40-0,87)	<b>0,68</b> (0,47-0,93)
<b>TFU</b>	-	-	0,23 (0,00-0,66)	0,12 (0,00-0,46)
<b>RP1</b>	0,08 (0,00-0,21)	0,09 (0,00-0,22)	<b>0,27</b> (0,13-0,64)	0,25 (0,01-0,66)

Min. et Max. désignent respectivement les bornes inférieure et supérieure des l'intervalles de confiance à 95%; les valeurs en gras sont significativement différents de zéro au seuil de 5%.

La PFM et TFU n'ont pu être calculé au niveau plant



Il s'agit maintenant de vérifier que ces critères sont utilisables par le sélectionneur et héritables, et de définir les conditions d'utilisation pour lesquelles le progrès génétique sera optimum. Pour cela, nous avons pris le parti d'évaluer l'héritabilité des critères dans deux conditions contrastées représentées dans l'expérimentation : en semis précoce et sous une densité normale et en semis tardif et sous forte densité.

Compte tenu de la méthode d'observation, 6 critères sur les 8 étudiés peuvent être analysés au niveau plante individuelle tandis que les 2 autres ne peuvent l'être qu'au niveau parcelle.

Parmi les 6 critères analysables au niveau individuel (Tableau 3-48), 3 ont une hérabilité élevée ( $> 0.40$ ) et 3 relativement faible ( $\leq 0.20$ ) dans les deux situations de culture. Les descripteurs portant sur la tige principale, la taille (HT) et la longueur des entrenoeuds (HNR), ou sur la longueur des branches fructifères (LBF) sont nettement plus hérables que les descripteurs portant sur les branches végétatives, nombre (NBV) et longueur (LBV) et sur l'indicateur de rétention des capsules (RP1).

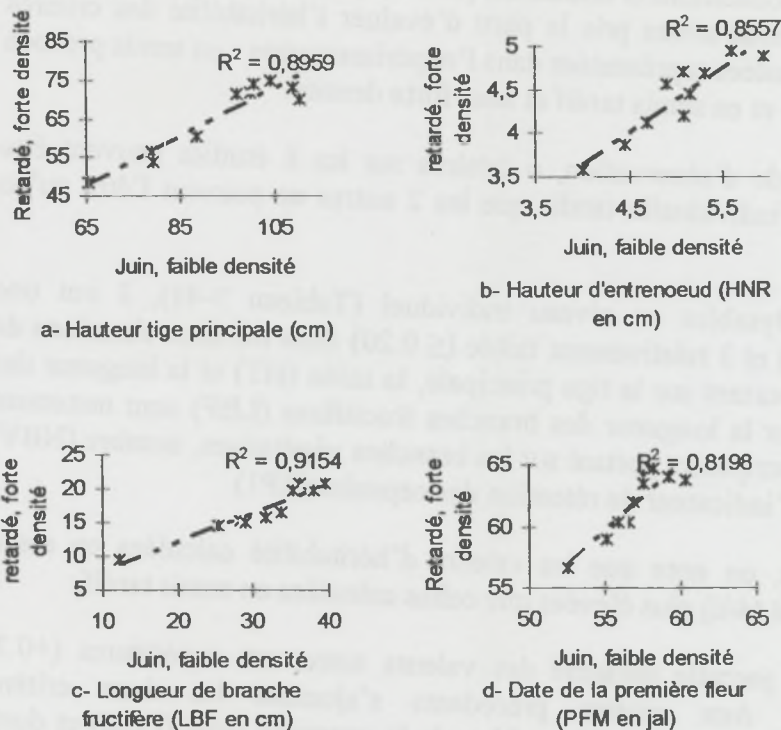
Pour ces mêmes critères, on note que les valeurs d'héritabilité calculées en semis précoce sont généralement (4/6) plus élevées que celles calculées en semis tardif.

L'héritabilité au niveau parcelle présente des valeurs nettement supérieures (+0.30 environ en moyenne). Aux critères précédents s'ajoutent les deux critères caractéristiques de la floraison : date d'apparition de la première fleur (PFM) et durée de floraison (TFU). A la date de semis et à la densité normales de culture, 5 des 8 critères analysables au niveau parcelle (Tableau 3-48) ont ainsi une hérabilité élevée ( $> 0.50$ ) et 3 intermédiaire ( $0.20 - 0.40$ ). Aux descripteurs présentant déjà une bonne hérabilité au niveau individuel, s'ajoutent le nombre de branches végétatives (NBV) et la date de première fleur (PFM).

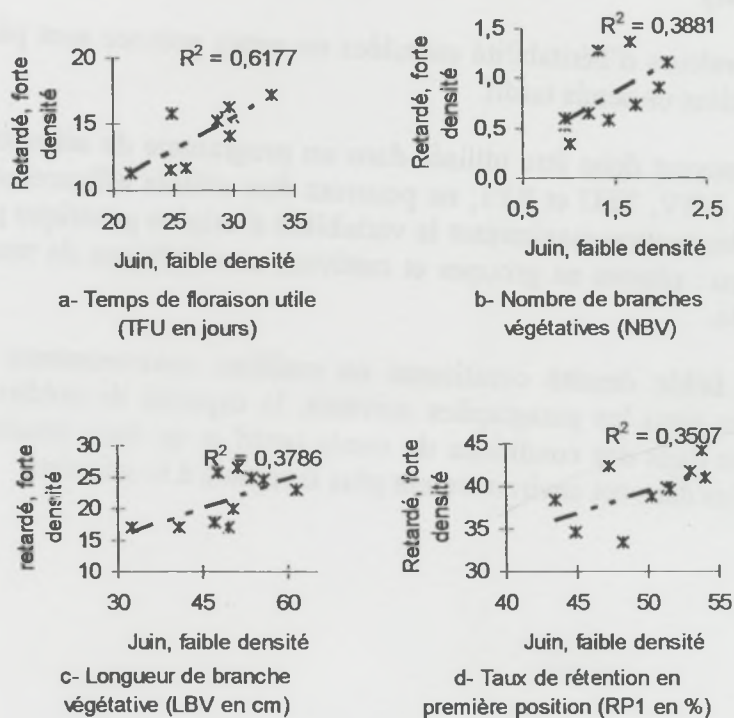
Ici encore, on note que les valeurs d'héritabilité calculées en semis précoce sont plus élevées (7/8) que celles calculées en semis tardif.

La plupart de ces critères peuvent donc être utilisés dans un programme de sélection. Toutefois, trois d'entre eux, LBV, TFU et RP1, ne pourront être utilisés efficacement que dans des conditions d'observation maximisant la variabilité d'origine génétique par rapport à celle due au milieu : plantes en groupes et cultivées en conditions de semis précoce et de densité normale.

Puisque semis précoce et faible densité constituent un meilleur environnement de sélection, nous examinerons dans les paragraphes suivants, la capacité de prédire le comportement de génotypes dans des conditions de semis tardif et de forte densité à partir d'observations réalisées dans cet environnement plus favorable à la sélection.



**Figure 3-14 : Corrélations positives et significatives entre itinéraires techniques pour HT, HNR, LBF et PFM**



**Figure 3-15 : Corrélations positives, mais non significatives entre itinéraires techniques pour TFU, NBV, LBV et RP1**



### 3.3.5- CAPACITE DE PREDICTION DU COMPORTEMENT DES VARIETES EN SEMIS TARDIF FORTE DENSITE A PARTIR D'OBSERVATIONS REALISEES EN SEMIS PRECOCE A DENSITE NORMALE

Les figures 3-14 et 3-15 représentent les relations entre les performances des 10 variétés observées sous les deux itinéraires les plus contrastés, date et densité normale de semis versus date retardée et haute densité.

Cette relation est positive pour tous les critères mais elle n'est significative ( $p < 0,05$ ) que pour 4 d'entre eux (Figure 3-14) : la taille (HT), la longueur d'entrenoeuds (HNR), la longueur de branche fructifère (LBF) et la date de première fleur (PFM). Ce résultat montre que les dispositifs de sélection peuvent être conduits indifféremment sous les deux itinéraires techniques.

Pour les 4 autres critères, la corrélation est positive mais sans toutefois atteindre le seuil de signification. Elle est relativement élevée pour le temps de floraison utile (TFU) et plus faible ( $< 0,40$ ) pour le nombre de branches végétatives (NBV), la longueur des branches végétatives (LBV) et le taux de rétention en première position de branche fructifère (RP1). Le premier critère peut être utilisé sous les deux itinéraires, à condition toutefois de confirmer que le niveau élevé de corrélation observé ici n'est pas fortuit. En revanche, les autres critères devront être observés dans des conditions représentatives du milieu de culture pour lequel un génotype est sélectionné.

### 3.3.6- STRATEGIE DE SELECTION DE L'IDEOTYPE H 279-1

Le type H 279-1 est plus particulièrement adapté au semis précoce et à la densité la plus faible (chapitre 7). Bien que productif dans les autres situations, il y est toutefois un peu moins régulier dans ses performances que les deux autres types que nous avons pris comme référence, Guazuncho II et Mar 88-214. Ce type se caractérise par un grand développement végétatif (HT, LBF, NBV), une entrée tardive en floraison (PFM), un taux élevé de rétention en première position de branche fructifère (RP1), un temps de floraison utile (TFU) plus long et des entrenoeuds (HNR) un peu plus courts que ceux d'Irma A 1042 et Stam 18 A.

Dans le processus de sélection, on fera particulièrement attention à ne pas laisser filer la taille et la longueur d'entrenoeud qui rapprocheraient du type Irma A 1042, proche mais qu'on a vu moins productif.

Compte tenu de la destination du type H 279-1, le dispositif de sélection sera placé en conditions de semis précoce et à densité faible. C'est d'ailleurs sous ces conditions qu'on observe la plus forte héritabilité pour tous les caractères qui nous intéressent. Les critères HT, HNR et LBF sont très héritables au niveau plant et ils pourront être utilisés par le sélectionneur dès la première génération de sélection, en F<sub>2</sub>, puis dans les générations plus avancées. Les autres critères, NBV, LBV, RP1, PFM et TFU, ont une héritabilité plus faible à l'échelle d'une plante. Ils seront donc mis en œuvre sur des lignées (sélection généalogique) à partir de la génération F<sub>3</sub>.

Dans ce dispositif, on disposera de témoins proches du type H 279-1 et destinés à cadrer le regard du sélectionneur. Irma A 1042 pourrait être utilisé comme marqueur d'une limite supérieure de développement végétatif et Guazuncho 2 comme une limite inférieure.

### **3.3.7- STRATEGIE DE SELECTION DE L'IDEOTYPE GUAZUNCHO 2**

Le type Guazuncho 2 est également performant dans toutes les conditions de culture expérimentées. Productif et régulier, il peut être recommandé lorsque les conditions de culture peuvent varier beaucoup et de manière imprédictible. Assez proche du type H 279-1, notamment par son temps de floraison (TFU) très élevé, il s'en distingue toutefois par un moindre développement végétatif, une plus grande précocité et un taux de rétention (RP1) un peu supérieur.

Ce type étant intermédiaire entre des types plus végétatifs (H 279-1, Irma A1042) et des types plus compacts (Chaco 520, Rockett), le sélectionneur devra rester vigilant pour ne pas dériver vers des génotypes moins généralistes.

Le type Guazuncho II n'étant pas destiné à une situation de culture particulière, le dispositif de sélection sera placé dans les conditions qui maximisent l'expression de l'hérédité des caractères, c'est-à-dire en semis plutôt précoce et à la densité normale de culture, la plus faible dans notre expérimentation. Les conditions initiales de mise en place, date et densité, pourront être légèrement adaptées aux conditions dominantes dans la zone concernée par la diffusion du génotype sélectionné. La stratégie de sélection sera donc tout à fait comparable à celle suivie pour H 279-1. Les critères HT, HNR et LBF pourront être utilisés à partir de la F2 en sélection de plants individuels. Les autres critères, NBV, LBV, RP1, PFM et TFU seront mis en œuvre en sélection généalogique dès la première génération permettant de structurer un croisement en familles, en F3.

On disposera de témoins encadrant le type Guazuncho II au sein du dispositif. Il est en effet essentiel de ne pas s'en écarter trop nettement en glissant vers les types plus marqués aux plans morphologiques et phénologiques, H 279-1 d'un côté et Mar 88-214 de l'autre. Ces témoins pourraient être H 279-1 d'une part et Chaco 520 d'autre part, cette variété étant elle-même plus proche de Guazuncho que ne l'est Mar 88-214. La présence de ces témoins permettra d'augmenter l'efficacité d'une sélection visuelle plus particulièrement axée sur la taille (HT), la longueur des branches fructifères (LBF) et végétatives (LBV), et les caractères de floraison (PFM et TFU).

### **3.3.8- STRATEGIE DE SELECTION DE L'IDEOTYPE MAR 88-214**

Le type Mar 88-214 est bien adapté aux semis tardifs et aux densités les plus élevées. C'est dans ces conditions qu'il réalise ses meilleures performances, tant en moyenne qu'en régularité, par rapport aux autres variétés productives mais plus généralistes. Il se caractérise par une faible croissance végétative associée à une entrée précoce en



floraison. Sa tige principale, ses entrenœuds et ses branches sont courtes, son temps de floraison est également réduit. Cette stratégie de mise en place de la production se traduit par un faible taux de rétention capsulaire en première position de branche fructifère.

Par rapport aux deux autres « idéotypes », on insistera davantage sur les caractères de morphologie et d'entrée en floraison que sur la rétention capsulaire, qu'il serait probablement inopportun de contre-sélectionner.

Uniquement destiné aux itinéraires techniques tardifs, ce type pourra être sélectionné dans un dispositif mixte, destiné à optimiser l'espérance de gain génétique. Pour tenir compte des résultats précédents, la stratégie de sélection pourrait comprendre deux phases : une première phase réalisée à date et à densité normales et une seconde à date retardée et à forte densité. La première phase portera sur les deux premières générations de sélection, la F2 d'abord en y sélectionnant les meilleurs individus pour les critères les plus héréditaires, HT, HNR et LBF, puis la F3 en y sélectionnant des individus sur ces mêmes critères et des lignées sur les critères moins héréditaires, NBV, PFM et TFU. La seconde phase portera sur les générations ultérieures et les critères pour lesquels les performances observées en semis précoce ne sont pas une image fidèle de celles observées en semis tardif. Ainsi, un dispositif de sélection généalogique en semis tardif et forte densité sera mis en place à partir de la génération F4. Aux critères précédents qui devraient confirmer les pressions de sélection exercées lors de la première phase, s'ajouteront l'observation de la longueur de branche végétative (LBV) et la durée de floraison utile (TFU).

Dans le dispositif, la présence de témoins autres que Mar 88-214 lui-même est moins nécessaire que dans les dispositifs précédents. En effet, Mar 88-214 est un type extrême. On peut néanmoins considérer que la variété Rockett pourrait servir de limite supérieure pour l'ensemble des critères morphologiques et phénologiques.

### 3.3.9- CONCLUSIONS

Dans ce chapitre, nous avons montré que, dans les conditions de notre étude, de bons niveaux de rendement peuvent être atteints par trois combinaisons différentes de caractères morphologiques ou phénologiques. Nous qualifierons ces combinaisons de stratégies variétales dans la mesure où les critères peuvent être vus comme indicateurs d'un comportement variétal présentant une cohérence et un niveau d'optimisation dans le temps suffisant pour réaliser le potentiel permis par des contraintes environnementales. Ces stratégies sont représentées par trois des types variétaux en essai : Mar 88-214, Guazuncho et H 279-1.

- La stratégie Mar 88-214 est typique du groupe des variétés américaines sélectionnées pour une culture à forte mécanisation. Au Bénin, elle est surtout performante en semis tardif et à forte densité. Elle se caractérise par une faible croissance végétative (courte taille avec de courtes branches) associé à une entrée précoce en floraison, un temps de floraison court, un faible taux de rétention capsulaire en première position de branche fructifère.

- La stratégie H 279-1 est représentative du groupe des variétés africaines. Elle est performante aux deux dates de semis, à toutes les densités de culture mais plus particulièrement en semis précoce et à la plus faible densité (chapitre 7). Ce type se caractérise par un grand développement végétatif, une croissance plus indéterminée avec une entrée tardive en floraison, un temps de floraison utile plus long (Irma A 1042 et Stam 18 A un peu moins, (voir chapitre 4), un fort taux de rétention en première position de branche fructifère.
- La stratégie Guazuncho 2 est adaptée à toutes les conditions de l'expérimentation. Elle se distingue de la stratégie H 279-1 par un moindre développement végétatif, intermédiaire entre les groupes américains et africains.

A l'inverse, on a pu également noter la mauvaise performance dans toutes les situations des types représentés par Oultan et Irma 772. Ils se différencient des meilleurs par un port en colonne, une grande taille, de longs entrenoeuds associés à de courtes branches fructifères. Le type S 188, morphologiquement assez proche des types africains, semble lourdement pénalisé par la forme Okra de ses feuilles. Il entre très tardivement en floraison et sa durée de floraison utile est parmi les plus faibles. Il se comporte particulièrement mal en remis à date retardée. Enfin, les types Rockett et Chaco 520, insuffisamment typés, ont du mal à trouver un créneau d'utilisation.

Le sélectionneur conduira sa stratégie d'amélioration à partir de 8 critères discriminants : la hauteur de la tige principale (HT), la longueur des entrenoeuds (HNR), le nombre de branches végétatives (NBV), la longueur des branches fructifères (LBF) et secondairement végétatives (LBV), la date d'apparition de la première fleur (PFM), le temps de floraison utile (TFU) et le taux de rétention en première position de branches fructifère (RP1).

Confirmant des résultats antérieurs (Lançon, 1995; Lançon *et al.*, 2000a), ces critères présentent tous une héritabilité suffisante pour être combinés dans des stratégies de sélection spécifiques du type recherché, et combinant sélections de plantes individuelles et de lignées, et différents itinéraires techniques.



---

## 4- DISCUSSION GENERALE

---

LES SEMIS TARDIFS RACCOURCISSENT LE TEMPS DE FLORAISON UTILE, DIMINUENT LE VOLUME DE LA PLANTE, LE NOMBRE DE CAPSULES PAR PLANT ET ABAISSENT LA LOCALISATION DE LA PRODUCTION SUR LES PREMIERS SITES FRUCTIFERES

Le raccourcissement du temps de floraison en semis retardé est dû au retard d'apparition de la première fleur et à l'arrêt prématurée de la floraison. Le retard de floraison peut s'expliquer par une réduction de la photopériode. En effet, le mois de juillet est en pleine saison des pluies, les couvertures nuageuses sont fréquentes et les durées d'ensoleillement généralement plus faibles. En revanche, l'arrêt de la floraison est lié à l'arrêt des pluies qui, intervenant avant la fin du développement des cotonniers, bloque toute poursuite de floraison, et réduit le temps de floraison utile.

En semis retardé, le développement végétatif est réduit, les plants sont plus petits et ils produisent moins de nœuds sur la tige principale, les branches végétatives sont plus courtes. Les fleurs et les capsules sont moins nombreuses. La réduction du volume du plant de cotonnier en semis retardé dépend fortement du milieu. La réduction a été plus marquée à Cana qu'à Okpara (où les conditions hydriques ont été meilleures). L'effet obtenu à Okpara peut être rapproché de ceux trouvés dans des conditions irriguées en Grèce, où aucune différence significative n'a été mise en évidence entre dates de semis pour la taille finale de cotonniers après deux années d'expérimentation (Galanopoulou-Sendouka *et al.*, 1980). Ces résultats suggèrent que la morphologie des cotonniers est particulièrement sensible au semis retardé dans les conditions d'alimentation hydrique limitantes. En conditions hydriques plus régulières comme à Okpara, les dernières pluies peuvent être suffisamment étalées ou suffisamment abondantes pour réduire le déficit de croissance de cotonniers semés tardivement.

Les effets d'un semis retardé sur la répartition de la production capsulaire n'ont pas beaucoup été étudiés à notre connaissance. Nous avons observé que les cotonniers en semis retardés positionnent un plus fort pourcentage de capsules plus bas sur le plant, aux six premières branches fructifères, contre les huit premières en semis de bonne date. Cela pourrait s'expliquer par le mode de distribution préférentielle des assimilats issus de la photosynthèse où les premiers sites fructifères sont les mieux alimentés (Kerby *et al.*, 1990b).

LES SEMIS RETARDES REDUISENT LE RENDEMENT DE TOUTES LES VARIETES, MAIS LES VARIETES TARDIVES À GRAND DEVELOPPEMENT VEGETATIF SONT PLUS SENSIBLES

Conformément aux résultats obtenus par de nombreux auteurs (Galanopoulou-Sendouka *et al.*, 1980; Wayne Smith and Varvil, 1982; Porter *et al.*, 1995; Gormus and Yucel, 2002; Crawley *et al.*, 2004), les rendements sont toujours plus faibles en semis retardé qu'en semis à date normale. Au Bénin, la diminution des rendements s'explique d'abord par la diminution des quantités de pluie disponibles pour une culture semée alors que la saison des pluies est déjà bien avancée. De plus, les plantes issues de semis retardés ne

peuvent plus bénéficier du pic de minéralisation de la matière organique du sol qui se situe fin juin –début juillet (Blondel, 1971a; 1971b). L'azote minéralisé dans le sol aux premières pluies a déjà été soustrait à la culture par les adventices.

En semis retardé, les pertes de rendement ont été plus faibles avec les variétés précoces et compactes qu'avec les variétés plus végétatives. Ce résultat est en harmonie avec ceux trouvés par d'autres auteurs. (Wayne Smith and Varvil, 1982) ont montré que dans les systèmes de culture où le coton est semé en dérobée après le blé, les génotypes précoce ne perdent que 35 à 50% de rendement contre 50 à 65% pour les variétés de pleine saison. Porter *et al.* (1995) ont aussi montré qu'en semis précoce la variété à cycle long DP 5415 avait un rendement supérieur à celui de variétés plus déterminées de type DES 119, Coker 320, ces dernières étant plus productives en semis tardif.

#### L'AUGMENTATION DE LA DENSITE RACCOURCIT LE TEMPS DE FLORAISON UTILE, DIMINUE LE VOLUME DE LA PLANTE, LE NOMBRE DE CAPSULES PAR PLANT ET ABAISSE LA LOCALISATION DE LA PRODUCTION SUR LES PREMIERS SITES FRUCTIFERES

L'architecture et la phénologie d'un plant de cotonnier sont plus sensibles aux effets de la densité qu'aux effets de la date de semis. Les fortes densités accroissent la compétition pour les ressources du sol, la lumière et l'occupation de l'espace. La plupart des résultats de la littérature confirment nos observations.

Jost and Cothren (2000) montrent que les fortes densités améliorent la précocité de production en fixant un pourcentage plus élevé de capsules sur les premières positions de branche fructifère et en bas de plante. Les densités très élevées du système narrow row cotton accélèrent la fin de la floraison mesurée par NAWF = 5 (Vories and Glover, 2002). Dans le même sens, Smith *et al.*, (1979) montrent que les faibles densités allongent le cycle de croissance des cotonniers. Par contre, Kerby *et al.*, (1990a), qui ont travaillé en conditions irriguées, observent en revanche un allongement de la durée de maturation sur des variétés à cycle long aux hautes densités de culture, comprises entre 100 000 et 150 000 plantes par ha. Nos résultats, obtenus en conditions pluviales, ont été différents de ceux de Kerby *et al.*, (1990a), probablement en raison des différences de conditions de culture.

Nous avons trouvé que les fortes densités conduisent à une réduction de la croissance des cotonniers, si bien que le volume occupé par chaque plant dans l'espace diminue. Mais en explorant des conditions de densité plus faibles, Hau and Goebel (1986) avaient observé à Bouaké (Côte d'Ivoire) qu'à 50000 plantes par ha les cotonniers étaient plus élancés qu'à 17000 et 8000 plantes par ha. En intégrant ces résultats aux nôtres, on peut avancer l'hypothèse qu'aux très faibles densités le plant occupe l'espace en favorisant la croissance en largeur. Plus la densité augmente, plus la compétition vers la lumière devient forte et le plant a tendance à favoriser la croissance en hauteur jusqu'à 50 000 pied/hectare. Au-delà, la compétition pour les ressources hydriques et trophiques du sol devient plus forte et le développement de chaque plant se réduit à la fois en hauteur et en largeur.

Kerby *et al.* (1990a) ont montré que seuls les génotypes élancés et à croissance indéterminée sont affectés par l'augmentation de la densité. Dans leurs expérimentations, ces auteurs ont également décelé une réduction de taille en 1984 mais pas en 1985 où l'irrigation a été stoppée plus tôt. L'effet de la densité sur les variétés



végétatives variait donc suivant les années et suivant les niveaux d'irrigation suggérant une forte interaction génotype x pluviométrie. Nos résultats, obtenus en régime pluvial, montrent également l'influence du régime hydrique sur l'effet de réduction de volume du plant à forte densité, réduction souvent plus marquée à Cana, moins bien arrosé que Okpara.

Conformément à nos résultats, d'autres travaux ont également mis en évidence une plus forte concentration des capsules sur les premiers sites fructifères aux fortes densités. Jost and Cothren (2001) ont expérimenté des densités allant de 74000 à 405000 plantes par ha. Ils ont trouvé que les cotonniers semés aux plus fortes densités positionnaient un pourcentage élevé de capsules aux premières positions des premiers nœuds de la tige, ce qui contribuait à raccourcir le cycle des cotonniers. Kerby and Buxton (1981) ont trouvé jusqu'à 76% de capsules en première position de branche fructifère aux fortes densités. Anjum *et al.*, (2001) ont trouvé que les premières positions de branches fructifères donnaient un pourcentage significativement élevé en coton graine par plant, allant de 55,9 à 63,5 %.

#### LES HAUTES DENSITES AMELIORENT LE RENDEMENT DE TOUTES LES VARIETES, MAIS LES VARIETES COMPACTES ET PRECOCES AINSI QUE LA VARIETE OKRA PROFITENT MIEUX DE L'AUGMENTATION DE LA DENSITE

Comme nous, Jost and Cothren (2001) ont trouvé que sur les sols peu fertiles, les cotonniers produisent des rendements plus élevés par unité de surface lorsqu'ils sont cultivés à forte densité. Ils ont montré que dans ces conditions, la plante tend à privilégier les puits reproducteurs dans l'allocation des biomasses. Sadras *et al.*, (1997) confirment que les plantes cultivées dans des conditions limitantes en nutrition azotée et à fortes densités tendent à allouer un taux plus élevé d'assimilats aux puits reproducteurs que les plantes cultivées dans des conditions moins limitantes.

Nous avons trouvé que les variétés compactes et précoces profitent mieux de l'augmentation de la densité que les variétés végétatives. Ce résultat est conforme à beaucoup d'autres cités dans la littérature, mais qui portent souvent sur des conditions de culture irriguées (Wayne Smith and Varvil, 1982; Kerby *et al.*, 1990a; 1990b). En condition pluviale, Nous avons vu précédemment, que l'augmentation de la densité réduit la taille de la plante, raccourcit les branches végétatives, diminue la durée de la floraison utile pour la production et abaisse la localisation de la production sur la plante. Ces manifestations de compétition entre plantes voisines se traduisent par une réduction de la production individuelle, qui, au niveau du peuplement, est largement compensée par l'augmentation du nombre de plantes à l'unité de surface. En limitant les effets de la compétition, les variétés à plus faible développement végétatif parviennent à réduire leur handicap de production par rapport aux variétés plus exubérantes.

Kerby *et al.*, (1990b) justifient cet avantage comparatif des variétés de type compact aux fortes densités par une augmentation du taux de biomasse allouée aux puits reproducteurs supérieure chez les génotypes déterminés lorsque la densité augmente. Chez les variétés à feuilles Okra, comme S 188 que nous avons trouvée plus performante aux hautes densités, l'augmentation de la densité améliore significativement la surface foliaire qui est un facteur limitant de la photosynthèse et du rendement aux densités normales. Sadras *et al.*, (1997) montrent aussi que le rythme d'allocation de biomasse aux puits reproducteurs a été trouvé plus élevé sur une variété à feuille Okra (Siokra 1-4) que sur une variété à feuille normale (Deltapine 90).

EN SEMIS RETARDE ET A DENSITE RENFORCEE, LES VARIETES COMPACTES ET PRECOCES COMBLENT LEUR DEFICIT DE PRODUCTION MAIS SANS PARVENIR TOUTEFOIS A DEPASSER LES VARIETES MOINS DETERMINEES

Dans ce travail nous avons testé l'hypothèse suivant laquelle des variétés précoces et compactes pourraient s'accommoder d'un cycle de pluie plus court, et que leur faible encombrement dans l'espace leur permettrait de supporter de plus fortes densités et de compenser une plus faible production individuelle. Nos résultats montrent que cette hypothèse n'est qu'imparfaitement vérifiée. Semées à bonne date, les variétés à cycle court, de type Mar 88-214, ont un potentiel de production plus faible que les variétés à cycle plus long, de type H 279-1. En semis retardé et à densité renforcée, elles comblent leur déficit mais sans parvenir toutefois à dépasser les variétés moins déterminées. Le raccourcissement de la durée de floraison utile touche uniformément tous les types variétaux et les variétés précoces ont perdu une partie de leur avantage intrinsèque qui était d'être capable de produire en un temps plus court. Les semis retardés les contraignent à réduire également leur cycle et leur potentiel de production est affecté, même si comparativement à leurs performances en semis à date normale, leur réduction de production est proportionnellement moins marquée que celle qui affecte les variétés tardives.

En Afrique, où la culture du coton est presque exclusivement pluviale, la quantité de pluie disponible au cours d'un cycle de culture et sa répartition sont très irrégulières entre années, entre sites et entre parcelles semées à différentes dates. Le bon comportement des variétés de type africain ou de type Guazuncho II, tient probablement à une grande plasticité : un potentiel de développement végétatif permettant à chaque individu du peuplement d'adapter son architecture aux variations des ressources disponibles dans le milieu, une période de floraison utile suffisamment longue pour absorber l'incidence des stress se produisant en cours de cycle. L'appareil végétatif représente un volant d'inertie et une capacité florifère qui confère aux variétés une grande homéostasie et leur permet de supporter des conditions climatiques et environnementales très variables (Rosenheim *et al.*, 1997).

LES DEUX PREMIERES POSITIONS DES 7 PREMIERES BRANCHES FRUCTIFERES REPRESENTENT LA REGION DU PLANT PRIVILEGIEE PAR LES COTONNIERS POUR INSTALLER L'ESSENTIEL DE LEUR PRODUCTION EN CULTURE PLUVIALE

Nos résultats contribuent aussi à la connaissance de la localisation de la production sur le plant de cotonnier. Les résultats publiés dans la littérature ne sont pas toujours concordants et concernent souvent les systèmes de culture où le coton est irrigué, et où l'usage de régulateurs de croissance est courant.

Dans les conditions pluviales de culture, nous avons observé que la contribution des sites fructifères à la production de capsules diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la tige principale (les positions extrêmes de BF, c'est-à-dire les positions 3 et plus). Jenkins *et al.*, (1990b) expliquent cela par la distribution préférentielle des assimilats aux capsules plus âgées résultant en de très faibles productions de capsules mûres sur les positions 2 et 3 des branches fructifères. Nous avons identifié les deux premières positions des 7 premières branches fructifères comme la région du plant préférée par le cotonnier pour installer l'essentiel de la production capsulaire. Au Mississippi, les



travaux de description de l'architecture du cotonnier appelé « plant mapping » réalisé sur 8 géotypes de différentes maturités ont permis de conclure que les branches fructifères 4 à 9 apportaient les plus grandes contributions à la production de capsules et au rendement en fibre (Jenkins *et al.*, 1990a; 1990b). En Australie, Constable (1991) trouvait que les premières positions des branches fructifères 2 à 8 apportaient les plus grandes contributions en nombre et en poids de capsules et de ce fait contribuaient le plus au rendement ce qui est plus proche de nos résultats et confirme l'importance de cette partie de la plante pour le rendement. Quand on sait que les premières positions des premières branches fructifères (à l'exception de la toute première BF) donnent les plus grosses capsules du plant (Hau and Goebel, 1987; Constable, 1991), on peut en conclure qu'en moyenne, les 7 premières branches fructifères sont déterminantes pour le rendement.

Des études récentes tendent à montrer que les capsules situées sur les positions les plus basses du plant sont celles dont la fibre a les meilleures caractéristiques technologiques (Cretenet, 2006). On peut donc penser que les itinéraires techniques alliant semis retardé et hautes densités, en localisant la production plus bas sur le plant, pourraient conduire à améliorer la qualité technologique des récoltes. Toutefois, cette hypothèse reste à vérifier, les semis retardés pouvant induire également des défauts de maturation de la fibre (Lançon *et al.*, 1989).

Tout en ouvrant de nouvelles perspectives pour les sélectionneurs, les résultats obtenus dans le cadre de ce travail confirment la pertinence des programmes de sélection mis en œuvre en Afrique francophone et qui ont abouti à l'élaboration d'un matériel végétal typé, de grande plasticité et bien adapté aux conditions de la culture pluviale africaine, même quand on change les paramètres de l'itinéraire technique.

---

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

---

### DES EFFETS DES ITINERAIRES TECHNIQUES AUX CONCLUSIONS SUR LES PERFORMANCES DES TYPES VARIETAUX

L'augmentation de la densité de culture comme le retard au semis ont une incidence comparable sur le développement des cotonniers. Ils se traduisent par un début de floraison plus tardif et une fin hâtive, par le raccourcissement du cycle et la réduction du volume occupé par la plante. Toutefois, l'augmentation de densité produit davantage d'effet qu'un retard au semis.

La date de semis a des effets importants sur la production à l'unité de surface et la répartition capsulaire. En semis retardé, les rendements sont plus faibles pour toutes les variétés. Chaque plant produit moins de capsules et cette production est largement concentrée sur les deux premières positions des 6 branches fructifères les plus basses, contre 8 en semis précoce.

L'augmentation de densité modifie davantage la répartition de la production sur la plante que le changement de date de semis. Aux fortes densités, chaque plante produit en moyenne moins de sites et les taux de rétention sont plus faibles. En conséquence, elle porte nettement moins de capsules. La proportion de capsules sur les branches végétatives est inférieure, l'essentiel de la production se retrouvant concentrée sur les premières positions des 7 premières branches fructifères. L'architecture subit aussi des changements. La taille est réduite, ainsi que la longueur des branches végétatives.

Enfin, en peuplement, la perte de rendement de chaque plante est plus que compensée par l'augmentation du nombre de plantes à l'unité de surface, si bien que les rendements de toutes les variétés sont plus élevés aux fortes densités. Les variétés à plus faible développement végétatif, parviennent ainsi à compenser leur handicap de production par rapport aux variétés plus exubérantes.

L'hypothèse suivant laquelle des variétés précoces et compactes pourraient s'accommoder d'un cycle de pluie plus court, et que leur faible encombrement dans l'espace leur permettrait de supporter de plus fortes densités et de compenser une plus faible production individuelle n'est qu'imparfaitement vérifiée. Certaines des variétés plus végétatives, comme H 279-1, Stam 18 A ou Guazuncho II restent tout aussi productives en condition de semis tardif que Mar 88-124, la meilleure variété de type précoce à port compact. Seulement, dans ces conditions, cette dernière présente une régularité de rendement un peu supérieure.

### DES STRATEGIES DE MISE EN PLACE DE LA PRODUCTION AUX CRITERES DE SELECTION EN PASSANT PAR DES RECOMMANDATIONS VARIETALES

Les cotonniers parviennent ainsi à réaliser des rendements élevés suivant trois stratégies variétales différentes, représentées par les types Mar 88-214, H 279-1 et Guazuncho 2 (chapitre 3-3). Ces stratégies variétales sont à raisonner en fonction du niveau de la pluviométrie attendue et de sa répartition.



Lorsqu'on a plus de chances d'être en saison normale (entre 1000 et 1200 mm de pluie utile par exemple), la stratégie « H 279-1 » reste la meilleure. Il faut des génotypes de grande taille, qui fleurissent tardivement et qui mettent un temps suffisamment long pour accomplir leur cycle de fructification. Cette description correspond bien en fait à celle des variétés de type africain, très florifères, d'aspect végétatif et à longues branches (en fait à longs entrenoeuds) capables d'installer beaucoup de sites. Dans ces conditions, les types MAR 88-214 ou Rockett ne sont pas recommandables, encore moins les types à port colonnaire (Oultan).

Si la probabilité de rencontrer une saison courte (pluviométrie utile comprise entre 800 mm et 900 mm) est élevée, le type Guazuncho 2 serait approprié. Il s'agirait de sélectionner des génotypes de taille moyenne, disposant de longues branches, qui fleurissent relativement tôt et qui ont une durée intermédiaire de floraison. Le type H 279-1 convient également, même si ses performances sont plus irrégulières. Les variétés à port colonnaire ou de type cluster sont à éviter dans ces conditions de culture.

Le type Mar 88-214 convient lorsque la probabilité de raccourcissement de la saison de pluie est quasi certaine (pluviométrie utile inférieure à 500). Grâce à son port compact et son faible développement végétatif, ce type pourrait être également valorisé dans le cadre d'une agriculture moins exigeante en intrants, plus durable. Toutefois, une telle architecture risque de déplaire aux producteurs en raison des difficultés de récolte qu'elle pourrait engendrer. En effet, le travail lié à la récolte manuelle est rendu pénible sur des plants courts qui engendrent une position courbée.

Nous proposons ainsi trois stratégies de sélection qui s'appuient sur la mise en œuvre de 8 critères d'héritabilité forte comme la taille (HT), la longueur des entrenoeuds (HNR), la longueur des branches fructifères (LBF), le nombre des branches végétatives (NBV), la date d'apparition de la première fleur (PFM), ou moyenne comme la longueur des branches végétatives (LBV), le temps de floraison utile (TFU) et le taux de rétention en première position de branches fructifères (RP1).

## DEVELOPPER DES PROGRAMMES DE SELECTION CIBLES

Ce travail montre que la diversification des conditions environnementales et des itinéraires techniques, ouvre la voie à une diversification variétale. Celle-ci pourrait être encore plus justifiée si on prenait en compte une variabilité de situations non explorée dans cette expérience, en particulier les régions plus sèches du nord de la zone cotonnière.

Nous pensons que la prise en compte de ces zones ouvre des pistes de recherche importantes. Les résultats obtenus suggèrent que des variétés plus déterminées, à cycle raccourci, peuvent avoir une place lorsque la durée de la saison des pluies est une contrainte forte et récurrente qui ne permet pas aux variétés de type africain d'exprimer leur potentiel. Les conditions de cette expérience permettent de formuler cette hypothèse, mais elle reste à confirmer par une expérimentation appropriée dans des zones où la saison des pluies est encore plus courte que celle du Bénin. D'autres interactions avec le milieu peuvent apparaître qui rendent nécessaires la confirmation expérimentale de cette hypothèse.

On pourrait aussi vérifier plus tard si au profit d'un port plus compact et d'un moindre développement végétatif, les variétés précoces étaient moins exigeantes en eau en

éléments minéraux et en produits de traitement phytosanitaire par rapport aux types plus végétatifs pour un même niveau de rendement. Un tel travail pourra permettre de raisonner aussi ces types variétaux dans le cadre d'une agriculture durable, plus respectueuse de l'environnement.

Bien entendu, l'avantage d'une telle diversification ne serait décisif que dans des conditions encore plus extrêmes que celles testées dans cette expérimentation. Car, maintenir, multiplier et diffuser plusieurs variétés demandent une organisation contraignante et coûteuse de la filière semencière. Il n'est donc pas certain que l'élargissement du choix variétal soit une option très réaliste à court terme.

Toutefois, cette diversification pourrait être anticipée par le sélectionneur autour des trois types favorables que nous avons identifiés au cours de cette étude, H 279-1, Guazuncho II et Mar 88-214. Si H 279-1 est une variété propre à la culture et déjà cultivée par les agriculteurs, les deux autres sont des variétés expérimentales qui n'ont jamais été diffusées en Afrique. Il leur manque de nombreuses caractéristiques indispensables : résistance à la bactériose du cotonnier (*Xanthomonas malvacearum*), résistance aux jassides (*Empoasca minor*) que confère une bonne pilosité foliaire, rendement à l'égrenage et qualités technologiques (longueur, ténacité, micronaire, maturité, finesse, couleur) propres à satisfaire les acheteurs du coton d'Afrique de l'Ouest.

Le sélectionneur pourrait ainsi identifier plusieurs projets de sélection au sein de son programme de création variétale. Chaque projet correspondrait à un objectif de sélection, une région, des conditions particulières de culture ou de marché, un idéotype. Il serait organisé suivant une stratégie de sélection et un dispositif optimisant les chances de réussite (Chapitre 3-3).

Dans cette perspective, les travaux de sélection participative conduits sur cotonnier au Bénin (Lançon *et al.*, 2004; Lançon *et al.*, 2006) permettent d'envisager des dispositifs originaux associant sélectionneurs professionnels et producteurs-sélectionneurs, phases en station et phases à la ferme. De tels dispositifs permettraient de conduire plusieurs projets de sélection à un coût supportable par la filière et avec une efficacité accrue par la spécialisation et la cohérence des pressions de sélection.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agresti A., Coull B. (1998). Approximate is better than "Exact" for interval estimation of binomial proportions. *The American Statistician* **52**: 119-126.
- Allen C. T., Kennedy C., Robertson B., Kharboutli M., Bryant K., Capps C., Earnest L. (1998). Potential of ultra narrow row cotton in southeast Arkansas. In: Proc. Belt. Cot. Conf., P. Dugger and D. Richter(ed), Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 1403-1406.
- Anjum R., Soomro A., Chang M., Memon A. (2001). Effet of Fruting positions on yield in America Cotton. *Pakistan Journal of biological Sciences* **4**(8): 960-962.
- Atwell S. D. (1996). Influence of ultra-narrow row on cotton growth and development. In: Proc. Belt. Cot. Conf., P. Dugger and D. Richter, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 1187-1188.
- Bachelier B. (1998). Contribution à l'étude de la variabilité et du déterminisme génétique de la teneur en fragments de coque de la fibre de coton. Premières applications pratiques en sélection chez *Gossypium hirsutum* L. Thèse de doctorat, FRANCE, ENSA de Rennes. 271 p.
- Bagwell R. D., Tugwell N. P. (1992). Defining the period of boll susceptibility to insect damage in heat units from flower. In: Proc. Belt. Cot. Conf., Memphis, USA., National Cotton Council of Am.: 767-768.
- Ball R. A., Oosterhuis D. M., Mauromoustakos (1994). Growth dynamics of cotton plants during water deficit stress. *Agronomy journal* **86**(5): 788-795.
- Belaygue C., Wery J., Cowan A. A., Tardieu F. (1996). Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. *Crop science* **36**: 1240-1246.
- Benson N. R., Vories E. D. (1995). Variation in growth patterns among cotton cultivars using nodes-above-white-flower. In: Proc. Belt. Cot. Prod. Conf., J.E. Brown, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 524-530.
- Bhattacharya N., Luthe D. S., Mc Kinion J. M., Reddy K. R., Wall G. W. (1991). Heat shock induced protein sunthesis in Pima cotton leaves exposed tolong temperature stress and enriched CO2 environment (Summary). In: Proc. Belt. Cot. Prod. Conf., Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: p. 844.
- Blondel D. (1971a). Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical à Séfa. *Agronomie Tropicale* **26**: 1334-1353.
- Blondel D. (1971b). Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical à Nioro du Rip. *Agronomie Tropicale* **26**: 1354-1361.
- Blum A. (1988). Plant breeding for stress environments. CRC Press Inc., Boca Raton (USA), 223 p.

- Blum A. (1992). The role of physiological techniques in breeding for stress tolerance. In "Workshop Field ecophysiological techniques for crop improvement in semi-arid areas". Monterotondo (Rome).
- Bordowsky J. P., Lyle W. M. (1997). Planned soil water depletion of irrigated cotton on the southern high plains. In: Proc. Belt. Cot. Prod. Conf., J.M.E. Brown(Ed.), Memphis (USA): 1403-1406.
- Bordowsky J. P., Lyle W. M., Keeling J. W. (1994). Crop rotation and tillage effects on soil water and cotton yield. *Agron. J.* **86**: 1-6.
- Bourland F., Oosterhuis D. M., Tugwell N. P. (1992). Concept for monitoring the growth and development of cotton plants using main-stem node counts. *J. Prod. Agric.* **5**: 532-538.
- Bourland F., Stringer S., Halter J. (1991). Maturity of cotton cultivars in Arkansas as determined by nodes above white bloom. In: Proc. Belt. Cot. Conf., Memphis, USA., National Cotton Council of Am. **1**: 560-563.
- Bourland F. M., Benson N. R., Vories E. D., Tugwell N. P., Danforth D. M. (2001). Measuring maturity of cotton using nodes above white flower. *The Journal of Cotton Science* **5**: 1-8.
- Bourland F. M., Oosterhuis D. M., Tugwell N. P., Cochran M. J., Zhang J. P. (1994). Timing cotton defoliation by nodal development. In: Proc., 1993 Cotton Research Meeting, Ark. Agric. Exp. Sta. Special Report No. 162.: 45-49.
- Bourland F. M., Tugwell N. P., Oosterhuis D. M., Stringer J. R., Phillips J. R., Cochran M. J. (1990). Reading the cotton plant for efficient management. In: Proc., 1990 Cotton Research Meeting, Ark. Agric. Exp. Sta. Special Report No. 144.: 45-49.
- Briggs R. E., Patterson L. L., Massey G. D. (1967). Within- and between-row spacing of cotton. Univ. of Arizona Agric. Ext. Serv., Arizona Annual report, 6-7.
- Burch K., Krieg D. (2002). The relative contribution of individual fruiting sites to cotton yield and quality. In: Proc. Belt. Cot. Conf., B.J.M. (Ed.), Atlanta (USA), National Cotton Council of Am.: CD-Rom computer file.
- Buxton D. R., Patterson L. L., Briggs R. E. (1979). Fruiting pattern in narrow row cotton. *Crop Sci.* **19**: 17-22.
- Cabangbang R. P., Mendoza V. S., Bader R. F. (1989). Morphological indicators of earliness in cotton. *Philippine journal of crop science* **14**(2): 51-54.
- Cawley N., Edmisten K. L., Stewart A. M., Wells R. (1998). Evaluation of ultra-narrow row cotton in North Carolina. In: Proc. Belt. Cot. Conf., P. Dugger and D. Richter(ed), Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 1402-1403.
- Chopart J. L., Kone D. (1985). Influence de différentes techniques de travail du sol sur l'alimentation hydrique du maïs et du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Agronomie Trop.* **40**(3): 223-229.
- Cilas C., Bar-Hen A., Montagnon C., Godin C. (2006). Definition of Architectural Ideotypes for Good Yield Capacity in *Coffea canephora*. *Annals of Botany* **97**(3): 405-411.
- Cilas C., Costes E., Milet J., Legnaté H., Gnangne M., Clément-Demange A. (2004). Characterization of branching in two *Hevea brasiliensis* clones. *Journal of experimental botany* **55**(399): 1045-1051.



- Cochran W. G., Cox G. M. (1957). Experimental designs. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Combaud S. (1996). Croissance foliaire d'un couvert de pois (*Pisum sativum* L.) soumis à un déficit hydrique: conséquences sur le rendement en graines et la consommation en eau. THESE, Montpellier, ENSAM. 83 p.
- Comstock R., Robinson H. (1952). Genetic parameters, their estimation and significance. In: Proc 6th. Int. Grassland Congrès: 284-291.
- Constable G. A. (1991). Mapping of production and survival of fruit on field-grown cotton. *Agro. J.* **83**: 374-378.
- Crawley S., Coskrey A., Baugh T., Lege K. (2004). Planting date effect on variety performance in the coastal plains in south Carolina. In: Proc. Belt. Cot. Conf, J.M.E. Brown, Memphis, TN (USA), National Cotton Council: p.2047.
- Creech J. B., N. J. J., McCarty Jr J. C. (1997). Genetics of photoperiodism in *Gossypium hirsutum* race stocks. In: Proc. Belt. Cot. Conf., P. Dugger and D. Richter(ed), Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: p.447.
- Cretenet M. (2006). MANUEL QUALITE COTON: Guide Technique d'une production de qualité. In "Programme qualité de l'UEMOA: Guide technique pour les filières cotonnières". ONUDI, sous presse.
- Cretenet M., Gerardeaux E., Guibert H., Toukon C. (à paraître). Diagnostic agronomique et "champs école paysans": un dispositif alternatif pour les fonctions de R&D au Bénin.
- Crozat Y., Castella J. C., Kasemsap P., Saimaneerat A. (1994). Guidelines of the interpretation of the variability of seed cotton yield in Thailand. report n°1, Agrophysiology programme ; report n°1, DORAS project, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 41.
- Crozat Y., Kasemsap P. (1995). Effect of sequential light reductions on fruiting, fruit survival and boll distribution of cotton. In: DORAS day 1995, Bangkok, Thailand, Kasetsart University: 28-32.
- Crozat Y., Kasemsap P. (1997). Plant monitoring techniques for analysing yield differentiation between cotton fields and improving crop management. **31(5)**: 74-82.
- Crozat Y., Renou A., Huu Binh N., Tho N. (1997). Diagnostic agronomique sur les systèmes de culture cotonniers de la province de Dong Nai. *Cahiers Agricultures* **6**: 493-500.
- Dickmann D. I. (1985). The ideotype applied to forest trees. In: Attributes of trees as crop plants, M.G.R. Camell and J.E. Jackson (eds), Cumbria, UK, Wilson & Son: 89-101.
- Doré T., Meynard J. M., Sebillotte M. (1998). The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions. *European Journal of Agronomy* **8**: 29-37.
- Estur G. (2006). Le marché mondial du coton. *Cahiers Agricultures* **15(1)**: 9-16.
- Fernandez C. J., Cothren J. t., Mc Innes K. J. (1992). Carbon and water economies of well-watered and water-deficient cotton plants treated with mepiquat chloride. *Crop Sci.* **32**: 175-180.

- Ferron P., Deguine J. P., Ekorong à Mouté J. (2006). Evolution de la protection phytosanitaire du cotonnier: un cas d'école. *Cahiers Agricultures* 15(1): 128-134.
- Fisher K. S., Edmeades G. O., Johnson E. C. (1989). Selection for the improvement of maize yield under moisture deficits. *Field Crops Res.* 22: 227-243.
- Floquet A., Amadji F., Gérardreau E., Okry F. (2002). Etude des facteurs de stagnation de la culture cotonnière au Bénin. SCAC et CRA-CF, Bénin, 55 p.
- Fowler J. L., Ray L. L. (1977). Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns. *Agro. J.* 69: 733-738.
- Gadallah A. A. (1995). Effect of water stress, abscisic acid and proline on cotton plants. *Journal of arid environments* 30(3): 315-325.
- Galanopoulou-Sendouka S., Sficas A. G., Fotiadis N. A., Gagianas A. A., Gerakis P. A. (1980). Effet of Population Density, Planting Date, and Génotype on Plant Growth and Development of Cotton. *Agro. J.* 72: 347-353.
- Galau G. A., Bass H. W., Hughes D. W. (1988). Restriction fragment length polymorphisms in diploid and allotetraploid *Gossypium*: assigning the late embryogenesis-abundant (Lea) alloalleles in *G.hirsutum* L. *Molecular and General Genetics* 211: 305-314.
- Galau G. A., Wang H. Y. C., Hughes D. W. (1992). Cotton Lea 4 (D19) and Lea A2 (D132) group 1 Lea genes encoding water stress-related proteins containing a 20-amino acid motif. *Plant physiology* 2: 783-788.
- Gerik T. J., Lemon R. G., Faver K. L., Hoelewyn T. A., Jungman M. (1998). Performance of ultra narrow-row cotton in central Texas. In: Proc. Belt. Cot. Conf., D. Richter(ed), Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 1406-1409.
- Godoy A. S., Palomo G. A. (1999). Genetic analysis of earliness in Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). I. Morphological and phenological variables. *Euphytica* 105: 155-160.
- Goebel S., Hau B., Schwendiman J. (1979). L'amélioration du cotonnier en Côte d'Ivoire par sélection massale-pedigree. *Cot. Fib. Trop.* 34: 215-228.
- Gomez A. K., Gomez A. A. (1984). Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 680 p.
- Gormus O., Yucel C. (2002). Different planting date and potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties in the çukurova region, Turkey. *Field crop res.* 78: 141-149.
- Gozé E., Chaume J., Sêkloka E., Lançon J. (2001). Correction des résultats des évaluations variétales précoces en fonction du voisinage. In: Actes des Journées Coton du CIRAD, Montpellier, CIRAD: 125-131.
- Grimes D. W., Yamada H. (1982). Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. *Crop science* 22: 134-139.
- Guinn G. (1979). Hormonal relations in flowering, fruiting and cut out. In: Proc. Belt. Cot. Conf., J.E. Brown, Memphis (USA), National Cotton Council of Am. 1: 265-276.



- Guinn G., Mauney J. R., Fry K. E. (1981). Irrigation scheduling and plant population effects on growth, bloom rates, boll abscission, and yield of cotton. *Agronomy journal* 73: 529-534.
- Hake K., El-Zik K. M., Johnson-Hake S., Mauney J. R. (1990). Cotton growth and development for production agriculture. *National Cotton Council (US)*: 17 p.
- Hau B. (1996). Connaissance des ressources génétiques. In: Actes des Journées Coton du CIRAD-CA, CIRAD-CA, Montpellier, France, Programme coton CIRAD-CA: 2/D-10/D.
- Hau B. (2000). Variabilité disponible pour l'amélioration génétique du cotonnier. In: Actes des Journées Coton du CIRAD-CA, CIRAD-CA(ed), Montpellier, France, Programme coton du CIRAD-CA: 287-291.
- Hau B., Goebel S. (1986). Modifications du comportement du cotonnier en fonction de l'environnement: 1. Evolution de l'architecture de 9 variétés semées à trois écartements. *Coton et Fibres Tropicales XLI*(2): 165-173.
- Hau B., Goebel S. (1987). Modifications du comportement du cotonnier en fonction de l'environnement: 2. Evolution des paramètres de productivité de neuf variétés semées à trois écartements. *Coton et Fibres Tropicales XLII*: 117-122.
- Hau B., Lançon J., Dessauw D. (2001). Cotton. In "Tropical plant breeding". CIRAD. Montpellier, France, Repères: 153-176.
- Hearn A., Room P. (1979). Analysis of crop development for cotton pest management. *Prot. Ecol.* 1: 265-277.
- Hearn A. B. (1995). The principles of cotton water relations and their application in management. In: Challenging the future, Proc. World Cotton Res. Conf.- 1, G.A. Constable and N.W. Forrester(ed), Brisbane, Australia: 66-92.
- Hearn A. B., Constable G. (1984). Cotton. In "The physiology of tropical food crops". P.R. Goldsworthy and N.M.E. Fisher. Bath, Avo, John Wiley and Sons: 495-527.
- Heitholt J. J. (1993). Cotton Boll Retention and It Relationship to lint yield. *Crop Sci* 33: 486-490.
- Heitholt J. J., Pettigrew W. T., Meredith W. R. (1992). Light interception and lint yield on narrow row cotton. *Crop Sci* 32: 728-733.
- Hernandez-Jasso A., Guitiérrez-Zamoran J. (2000). Response to plant density in cotton cultivars, yield and yield components. In: Proc. Belt. Cot. Conf., B.J.M. (Ed.), Memphis (USA), National Cotton Council of Am. 1: 568-570.
- Hesketh J. D., Baker D. N., Duncan W. G. (1972). Simulation of growth and yield in cotton : II. Environmental control of morphogenesis. *Crop Sci.* 12: 436-439.
- Hoskinson P. E., Mullins J. A., McCutchen T. (1974). Narrow row cotton in Tennessee. Univ. of Tenn. Agric. Exp. Sten. Bull.: p.535.
- Hougni A., Djaboutou M., Sêkloka E., Lançon J. (1999). Stam F, Stam 18 A et H 279-1: variétés passées, présentes ou à venir pour la filière coton béninoise ? Synthèse des résultats obtenus entre 1991 et 1998. In: Actes des Journées Coton du CIRAD-CA, CIRAD-CA, Montpellier, France, Programme coton du CIRAD-CA: 124-139.

- Howell T. A., Davis K. R., Mc Cormick R. L., Yamada R. L., Walhood V. T. (1984). Water use efficiency of narrow row cotton. *Irrigation science* **3**: 195-214.
- ICAC (2005). Cotton: world statistics. Bulletin of the International Cotton Advisory Committee. **September 2005**: 131 p.
- Jeffrey C. S. (1994). Practical uses of crop monitoring for Arizona cotton. In: Proc. Belt. Cot. Conf., J.M.E. Brown, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 186-188.
- Jenkins J., McCarty J., Jr, Parrott W. (1990a). Effectiveness of fruiting sites in cotton: Yield. *Crop Sci* **30**: 365-369.
- Jenkins J., McCarty J., Jr, Parrott W. (1990b). Fruiting efficiency in cotton: boll size and boll set percentage. *Crop Sci* **30**: 857-860.
- Jost P., Cothren J. T. (2000). Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacing. *Crop Sci* **40**: 430-435.
- Jost P., Cothren J. T. (2001). Phenotypic alterations and crop maturity differences in ultra-narrow row and conventionally spaced cotton. *Crop Sci.* **41**: 1150-1159.
- Kale H. B., Bharad G. M., Deshmukh S. V. (1991). Effect of plant density on moisture utilization and yield of hirsutum cottons under rainfed conditions. *Annals of Plant Physiology* **5**(2): 183-187.
- Kale H. B., Bharad G. M., Desmukh S. V. (1991). Effect of plant density on moisture utilization and yield of hirsutum cottons under rainfed conditions. *Ann. Plant Phisiol.* **5**(2): 183-187.
- Kerby T., Buxton D. (1981). Competition between adjacent fruiting forms in cotton. *Agro. J.* **73**: 867-871.
- Kerby T., Buxton D., Matsuda K. (1980). Carbon source-sink relationships within narrow row cotton canopies. *Crop Sci.* **20**: 208-213.
- Kerby T., Cassman K., Keeley M. (1990a). Genotypes and Plant Densities for Narrow-row Cotton Systems. I. Height, Nodes, Earliness, and Location of Yield. *Crop Sci.* **30**: 644-649.
- Kerby T., Cassman K., Keeley M. (1990b). Genotypes and Plant Densities for Narrow-row Cotton Systems. II. Leaf Area and Dry-Matter Partitioning. *Crop Sci.* **30**: 649-653.
- Krieg D. R. (1996). Physiological aspects of ultra narrow row cotton production. In: Proc. Belt. Cot. Conf., D. Richter, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: p.66.
- Lacape J.-M. (1996). Effet de la sécheresse sur le cotonnier et amélioration génétique de son adaptation au déficit hydrique. Document de travail N° 5-96, CIRAD-CA, Montpellier, 35 p.
- Lacape J.-M. (1998). Analyse écophysiological de la réponse de variétés de cotonnier au déficit hydrique. Thèse de Doctorat, France, ENSA de Montpellier. 120 p.
- Lacape J.-M., Nguyen T.-B., Courtois B., Belot J.-L., Giban M., Gurlot J.-P., Gawryziak G., Roques S., Hau B. (2005). QTL analysis of cotton fiber quality using multiple *Gossypium hirsutum* x *Gossypium barbadense* Backcross Generations. *Crop Sci* **45**: 123-140.



- Lançon J. (1994). L'amélioration du cotonnier au CIRAD. In "Traitement statistique des essais de sélection. Actes du séminaire de biométrie et génétique quantitative, 12-14 septembre 1994". CIRAD. Montpellier, France: 275-293.
- Lançon J. (1995). Effet de la densité de semis en sélection sur l'amélioration génétique du cotonnier : interaction, structures de corrélations, hétérosis et valeur en lignées. Thèse de Doctorat, Paris, Université de Paris-Orsay. 119 p.
- Lançon J. (1998). Evaluating F3 lines of single crosses for yield improvement in cotton. In: New frontiers in cotton research, Proc. World Cotton Res. Conf.- 2, F.M. Gillham (ed), Athens, Greece, ICAC: 144-147.
- Lançon J., Bachelier B., Chanselme J. L., Dessauw D., Klassou C., N'Guessan E., Nguyen T. B., Ousmane E. (1993). Etude multilocale d'un diallèle à quatre géniteurs d'élite sélectionnés au sein du réseau coton africain. IV Hétérosis et homéostasie. *Coton et Fibres Tropicales* 48(1): 17-39.
- Lançon J., Chanselme J. L., Klassou C. (1990). Bilan du progrès génétique réalisé par la recherche cotonnière au Nord Cameroun de 1960 à 1988. *Cot. Fib. Trop.* 45(2): 145-167.
- Lançon J., Hogni A., Sêkloka E., Djaboutou M. (2000d). Mesure d'allogamie en parcelle de sélection. In: Actes des Journées Coton du CIRAD, Montpellier, CIRAD: 77-84.
- Lançon J., Klassou C., Chanselme J. L. (1989). Influence de la date de semis sur certaines caractéristiques technologiques de la fibre et de la graine de coton (*Gossypium hirsutum* L.) au nord Cameroun. In: actes de la 1ère conférence de la recherche cotonnière africaine, Ministère du Développement rural du TOGO 1: 241-251.
- Lançon J., Lewicki S., Djaboutou M., Chaume J., Sêkloka E., Assogba L., Takpara D., Orou Mousse B. I. (2004). Decentralized and participatory cotton breeding in Benin : Farmer-breeders' results are promising. *Experimental Agriculture* 40: 419-431.
- Lançon J., Lewicki S., Viot C., Djaboutou M., Cousino J.-C., Sêkloka E. (2006). Recréer du lien dans les filières cotonnières: la sélection participative au Bénin et au Paraguay. *Cahiers Agricultures* 15(1): 92-99.
- Lançon J., Sêkloka E., Sinha M., Djaboutou M. (2000a). Héritabilité de quelques caractères définis par plant mapping. In: Actes des Journées Coton du CIRAD, Montpellier: 129-136.
- Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye M., Gérardeau E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B. (à paraître). Prototyping crop management systems: a case study for late planted cotton in west Africa. I. Elaboration of a prototype and on station evaluation.
- Lawlor D. J., Landivar J. A., Crenshaw C., Vasek J. (1992). Soil water storage and productivity of cotton in conventional vs. reduced tillage systems. In: Proc. Belt. Cot. Prod. Conf., Memphis (USA): 1045-1046.
- Levitt J. (1980b). Responses of plants to environmental stresses. Vol.II- Water, radiation, salt and other stresses. 606 p.
- Lewis H. L. (1971). What is narrow row high - population cotton ?, *Journal & yearbook*: 49 p.

- Low A., McMahon J., Pistillo G. (1975). Varietal responses to high plant densities in three climatic regimes in Australia. *Cotton Grow. Rev.* **52**: 112-125.
- Ludlow M. M. (1989). Strategies of response to water stress. In: Structural and functional responses to environmental stresses: water storage. XIV international botanical congress, Berlin, west Germany, SPB Academic Publishing (The Hague): 269-281.
- Ludlow M. M., Muchow R. C. (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.* **43**: 107-153.
- Martin J. (2000). Note de synthèse sur l'Unrc et le pix. In "Rapport de mission aux Beltwide Cotton Conference 2000. San Antonio, TX, USA, 5-8 Janv 2000. Restitution des participants et visite de laboratoire". P. Silvie, H. Chair and J. Martin. Montpellier, France, Cirad-Ca: 28 p.
- Mateos L., Berengana J., Orgaz F., Diz J. (1991). A comparison between drip and furrow irrigation in cotton at two levels of water supply. *Agricultural water management* **19**: 313-324.
- Matthews G. A. (1989). Cotton insect pests and their management. Longman Scientific & Technical Ed., Harlow, Essex (GB), 199 p.
- Mauney J. (1984). Anatomy and morphology of cultivated cottons. In "cotton". R.H. Kohel and C.F. Lewis, Am. Soc. Agron. Agronomy series 24, Madison (USA): 59-81.
- Mauney J. R. (1986). Vegetative growth and development of fruiting sites. In "Cotton physiologie". J.R. Mauney and J.M. Stewart: 18-28.
- Meredith W. R., Jr, Wells R. (1989). Potential for increasing cotton yields through enhanced partitioning to reproductive structures. *Crop Sci.* **29**: 636-639.
- Meritan M., Chanselme J. L., Lançon J., Klassou C. (1993). L'amélioration du cotonnier au Cameroun. CIRAD, Montpellier, France, 57.
- Moulherat C., Tengberg M., Faquet J.-F., Mille B. (2002). First evidence of cotton at neolithic Mehrgarh, Pakistan: analysis of mineralised fibers from a copper bead. *Journal of Archaeological Science* **29**: 1393-1401.
- Munk D. S., Grimes D. W., Kerby T. A. (1995). Plant responses to late season water deficits in Acala cotton cultivars. In: Challenging the future: Proceeding of World Cotton Conference-1, G.A. Constable and N.W. Forrester(ed), Brisbane, Australia: 14-17.
- Normie B., Glen J. (1995). Early season cotton variety response to planting dates. In: Proc. Belt. Cot. Conf., J.M.E. Brown, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 515-516.
- Nubukpo K., Keita S. M. (2006). Prix mondiaux, prix au producteur et avenir de la filière coton au Mali. *Cahiers Agricultures* **15**(1): 35-41.
- Oosterhuis D. M. (1995). Effet of PGR-IV on the growth and yield of cotton: a review. In: Challenging the future: Proc. World Cotton res. Conf.-1, G.A. Constable and N.W.E. Forester, Melbourne, CSIRO: 242-243.
- Oosterhuis D. M., Ball R. A., Hampton R. E. (1990). Plant indicators of water stress for improved irrigation scheduling. In: Proceeding of the 1990 cotton research meeting, Ark. Agric. Exp. Stn. Bull.: 33-43.



- Oosterhuis D. M., Bourland F. M., Tugwell N. P. (1992). Basis for the nodes above white flower cotton monitoring system. *Ark. Farm Res.* **41**(5): 3-5.
- Oosterhuis D. M., Bourland F. M., Tugwell N. P., Cochran M. J. (1994). Terminology and concepts related to crop monitoring, maturity and defoliation. In: Proc., 1993 Cotton Research Meeting, Ark. Agric. Exp. Sta. Special Report No. 162: 239-249.
- Oosterhuis D. M., Bourland F. M., Tugwell N. P., Cochran M. J. (1996). Terminology and concepts related to the COTMAN crop monitoring system, Ark. Agric. Exp. Sta. Special Report No. 174: 20 p.
- Pandey D. M., Goswami C. L., Kumar B. (2003). Physiological Effects of Plant Hormones in Cotton Under Drought. *Biologia Plantarum* **47**(4): 535-540.
- Parry G. (1982). Le cotonnier et ses produits. G.-P. Maisonneuve & Larosse, Paris (Ve), 502 p.
- Passioura J. B. (1979). Accountability, philosophy and plant physiology. *SEARCH* **10**(10): 347-359.
- Paterson A. H., Saranga Y., Menz M., Jiang C.-X., Wright R. (2003). QTL analysis of genotype  $\times$  environment interactions affecting cotton fiber quality. *Theoretical and Applied Genetics* **106**(3): 384-396.
- Percival A. E., Kohel R. J. (1990). Distribution, collection and evaluation of *Gossypium*. *Adv. Agro.* **44**: 225-256.
- Perkins W. R. (1998). Three year overview of UNRC vs. Conventional cotton. In: Proc. Belt. Cot. Conf., P. Dugger and D. Richter, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: p. 91.
- Porter P. M., Sullivan M. J., Harvey L. H. (1995). Cotton variety by planting date interaction in the southeast. In: Proc. Belt. Cot. Conf, J.M.E. Brown, Memphis, TN (USA), National Cotton Council: 516-521.
- Quisenberry J. E., Jordan W. R., Roark B., Fryrear D. W. (1981). Exotic cottons as genetic sources for drought resistance. *crop Sci.* **21**: 889-896.
- Radin J. W., Mauney J. R., Guinn G. (1985). Effects of N fertility on plant water relations and stomatal response to water stress in irrigated cotton. *Crop science* **25**(1): 110-114.
- Ragazzi A. (1995). Infection of cotton by *Fusarium oxysporum* f.sp.vasinfestum as affected by water stress (summary). *Phytoparasitica* **23**(4): 315-321.
- Ray L. L., Wendt C. W., Roark B., Quisenberry (1974). Genetic modification of cotton plants for more efficient water use. *Agric. Meteorol.* **14**: 31-38.
- Richards R. A. (1991). Role of physiological genetics in the improvement of drought resistance. In: SYMPOSIUM ABST.GOLD.JUB., NEW DELHI **02/91**: 244-245.
- Richmond T., Ray L. (1966). Product-quantity Measures of Earliness of Crop maturity in Cotton. *Crop Sci* **6**: 235-239.
- Rosenheim J. A., Wilhoit L. R., Goodell P. B., Grafton-Cardwell E. E., Leigh T. F. (1997). Plant compensation, natural biological control, and herbivory by Aphis

gossypii on pre-reproductive cotton: the anatomy of a non-pest. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **85**(1): 45-63.

- Russell D., Deguine J.-P. (2006). Durabilité de la culture de cotonniers transgéniques en Chine et en Inde. *Cahiers Agricultures* **15**(1): 54-59.
- Sadras V., Bange M., Milroy S. (1997). Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors. *Annals of Botany* **80**: 75-81.
- Saranga Y., Jiang C.-X., Wright R. J., Yakir D., Paterson A. H. (2004). Genetic dissection of cotton physiological responses to arid conditions and their inter-relationships with productivity. *Plant, Cell & Environment* **27**(3): 263-277.
- Saranga Y., Menz M., Jiang C.-X., Wright R. J., Yakir D., Paterson A. H. (2001). Genomic Dissection of Genotype  $\times$  Environment Interactions Conferring Adaptation of Cotton to Arid Conditions. *Genome Research* **11**(12): 1988-1995.
- SAS-Institute (1988). SAS/STAT user's guide, Release 6.03 Editions. SAS Institute, Inc., Cary (USA).
- Sêkloka E., Lançon J., Hau B., Gozé E., Lewicki S. (in review). Estimation de la date de fin de croissance végétative au cours du cycle de développement du cotonnier *Gossypium hirsutum* L.
- Sêkloka E., Lewicki S., Djaboutou M., Sinha M., Hougni A., Kouveglo E., Honton T. (2004). Essais multilocus, Amélioration génétique classique en station, Amélioration génétique participative et Interactions variétés itinéraires techniques. Rapport annuel, Rapport annuel, Division génétique, CRA-CF/INRAB, Bénin, 35 p.
- Smith C. W., Waddle B., Ramey H. (1979). Plant spacings with irrigated cotton. *Agro. J.* **71**: 858-860.
- Souza J. G., Viera D., Silva (1987). Partitioning of carbohydrates in annual and perennial cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of experimental botany* **38**(192): 1211-1218.
- Spines C. E. (1996). Weed control in ultra-narrow row cotton - Possibles strategies assuming a worst case scenario. In: Proc. Belt. Cot. Conf., D. Richter, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 66-67.
- Stewart J. M. (1994). Potential for crop improvement with exotic germplasm and genetic engineering. In: Proc. World Cotton Res. Conf. -1: Challenging the future, G.A. Constable and N.W.E. Forester, Brisbane, Australia, CSIRO: 313-327.
- Tukey-Kramer C. Y. (1956). Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications. *Biometrics* **12**: 309-310.
- Turner N. C., Kramer P. J. (1980). Adaptation of plants to water and high temperature stress. WILEY INTERSCIENCE PUBLICATION, USA, 482 p.
- Ungar E. D., Wallach D., Kletter E. (1987). Cotton response to bud and boll removal. *Agro. J.* **79**: 491-497.
- Viera D., Silva (1984). Applications des études fondamentales à l'amélioration de plantes résistantes à la sécheresse. *Bulletin de la Société botanique de France. Actualités botaniques*(131): 51-57.



- Vories E., Glover R. (2002). Comparing the timing of the last effective boll populations in UNR and Conventional cotton. In: Proc. belt. Cot. Conf., Memphis (USA), National Cotton Council Memphis TN: CD computer file.
- Waddle B. (1982). Factors affecting fruiting and shedding in cotton. *Down to Earth* 38(2): 20-38.
- Wadleigh C. H., Gauch H. G. (1948). Rate of leaf elongation as affected by the intensity of the total soilmoisture stress. *Plant physiology* 23(4): 485-495.
- Wannamaker W. K. (1971). Summary of narrow row-high population research. *Ginn's Journal & Yearbook*: p.61.
- Wayne Smith C. W., Varvil J. J. (1982). Double cropping cotton and wheat. *Agro. J.* 74: 862-865.
- Wells R., Meredith W. R. J. (1984). Comparative growth of obsolete and modern cotton cultivars. II. Reproductive dry matter partitioning. *Crop Sci.* 24: 863-868.
- Wendel J. F., Albert V. A. (1992). Phylogenetics of the cotton genus (*Gossypium*): character-state weighted parsimony analysis of chloroplast-DNA restriction site and its systematic and biogeographic implications. *Syst Bot* 17: 115-143.
- Wery J. (1996). Production de graines et fixation d'azote par des cultures de légumineuses sous contrainte hydrique. Document technique (habilitation à diriger des recherches), Université Montpellier II, Montpellier, 65p.
- Witten T., Cothren J. (2000). Varietal comparisons in ultra narrow row cotton (UNRC). In: Proc. Belt. Cot. Conf., B.J.M. (Ed.), Memphis (USA), National Cotton Council of Am. 1: 608-608.
- Wrona A. F., Kerby T. (1994). Cotton mapping survey - Imperial valley. In: Proc. Belt. Cot. Conf., J.E. Brown, Memphis (USA), National Cotton Council of Am.: 1291-1292.
- Yan J., He C., Wang J., Mao Z., Holaday S. A., Allen R. D., Zhang H. (2004). Overexpression of the Arabidopsis 14-3-3 Protein GF14 in Cotton Leads to a "Stay-Green" Phenotype and Improves Stress Tolerance under Moderate Drought Conditions. *Plant and Cell Physiology* 45(8): 1007-1014.
- Zhao D., Reddy K. R., Kakani V. G., Koti S., Gao W. (2005). Physiological causes of cotton fruit abscission under conditions of high temperature and enhanced ultraviolet-B radiation. *Physiologia Plantarum* 124: 189-199.
- Zoundi J. S., Hussein K., Hitimana L. (2006). Libéralisation de la filière coton et innovation agricole en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures* 15(1): 17-21.

---

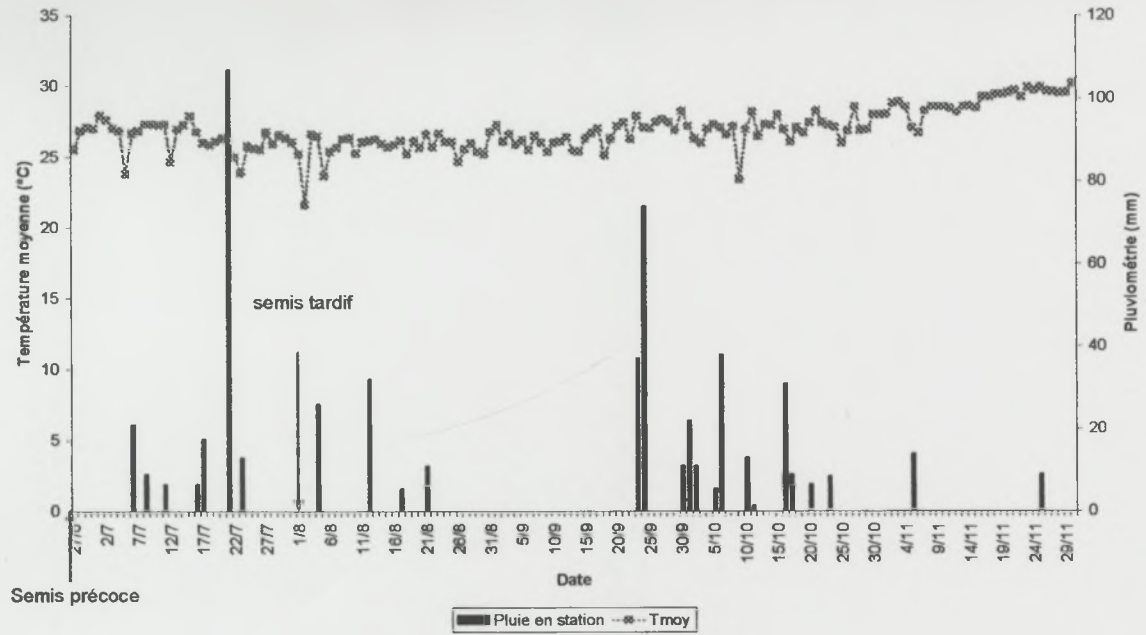
## ANNEXES

---

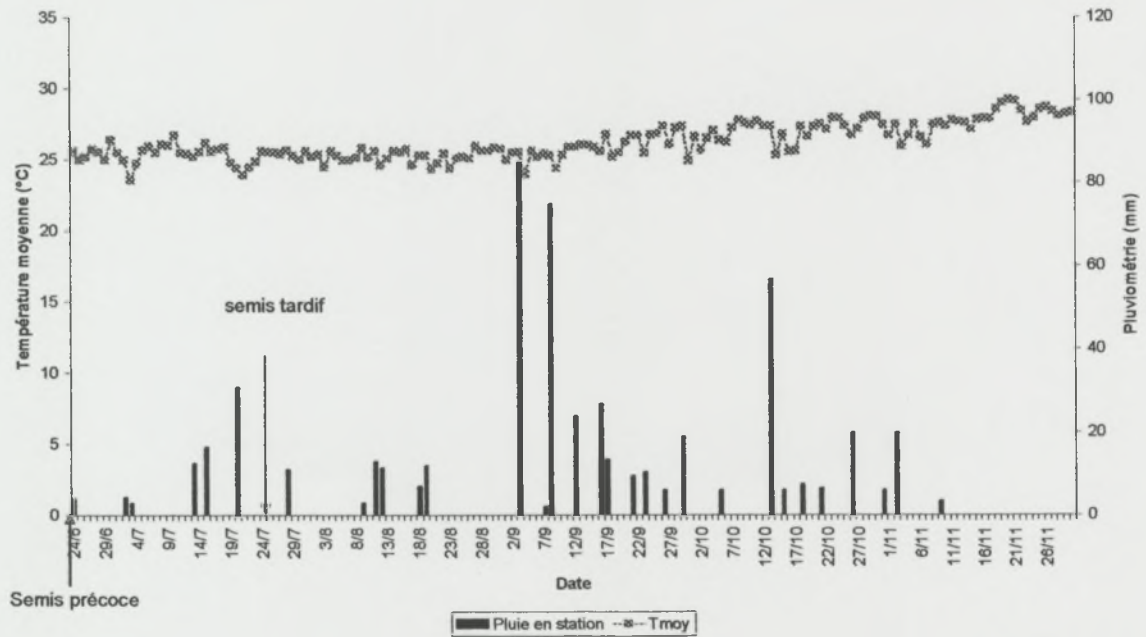
ANNEXE 1: COURBES D'EVOLUTION DES  
PLUVIOMETRIES ET DES TEMPERATURES  
JOURNALIERES AU COURS DES SAISONS 2002 ET  
2003 A OKPARA ET A CANA



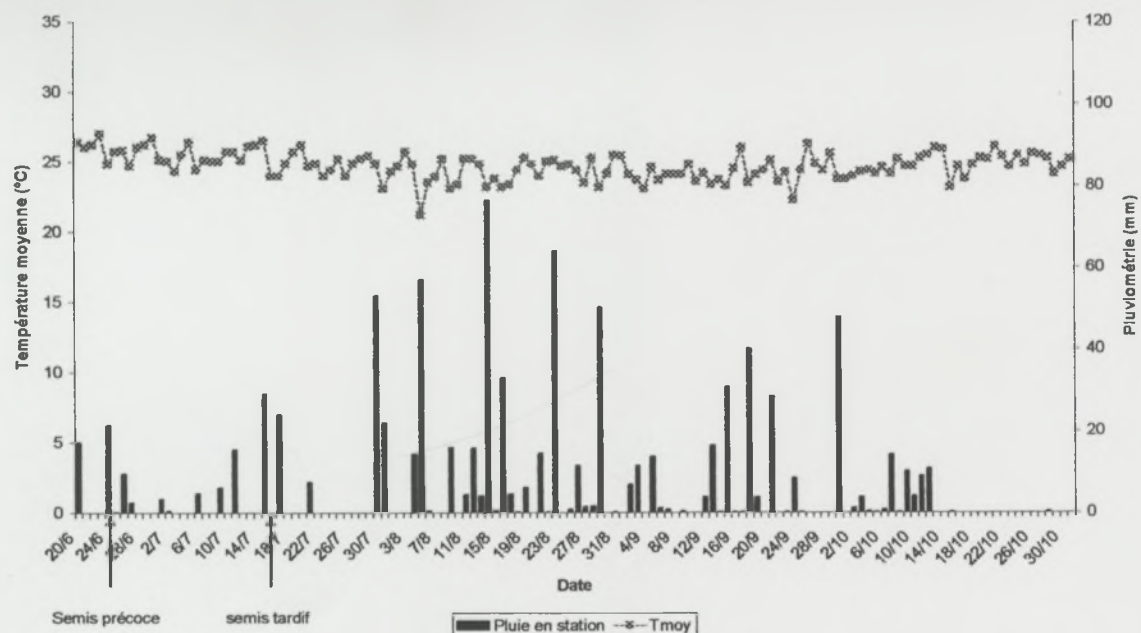
### Température et pluviométrie en 2002 à Cana



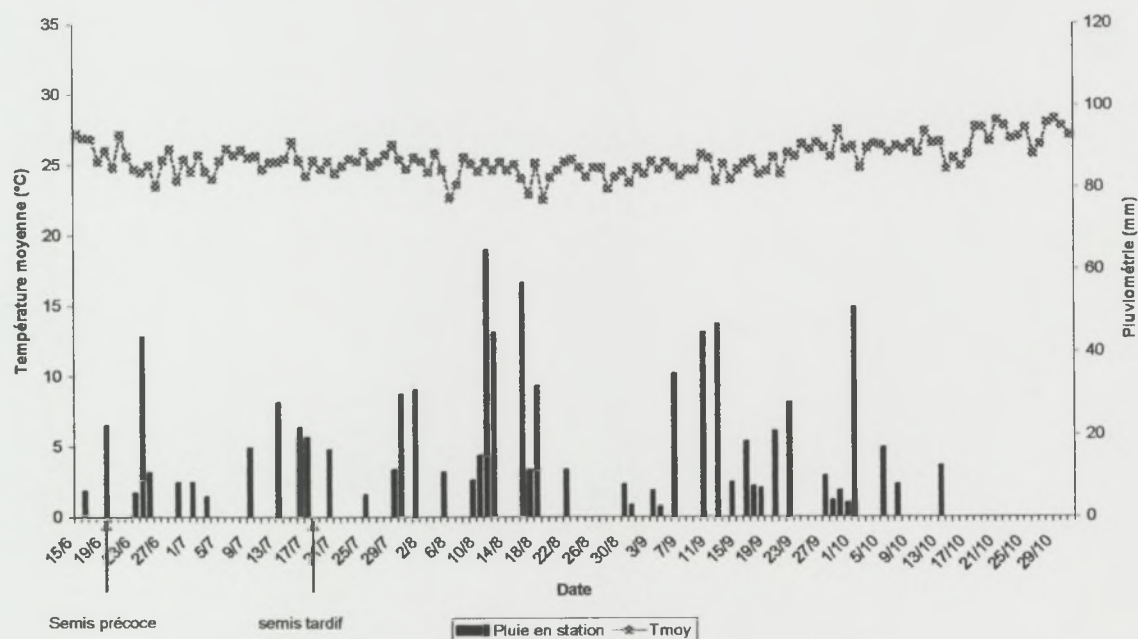
### Température et pluviométrie en 2003 à Cana



### Température et pluviométrie en 2002 à Okpara



### Température et pluviométrie en 2003 à Okpara





**ANNEXE 2: VALEURS MOYENNE DES VARIABLES  
OBSERVEES DANS LES DIFFERENTS ITINERAIRES  
TECHNIQUES PAR ESSAI**

Rendement en kg/ha (Rdt)								
		Variété	42000		120000		167000	
			Précoce	Tardif	Précoce	Tardif	Précoce	Tardif
Cana	2002	Chaco 520	1283	1092	1241	1315	1023	1388
		Guazuncho 2	1398	1113	1246	1439	1283	1478
		H 279-1	1764	1149	1757	1286	1325	1087
		Irma 772	1356	910	1171	1085	919	872
		Irma A 1042	1698	1210	1305	1186	1281	1264
		Mar 88-214	983	1133	1197	1754	896	1576
		Oultan	999	892	768	1055	603	1201
		Rockett	1165	962	929	1404	989	1456
		S 188	1341	1182	1423	1333	1295	1309
		Stam 18 A	1770	1244	1599	1366	1279	1164
Cana	2003	Chaco 520	1229	673	1155	712	1496	614
		Guazuncho 2	1404	970	1064	703	1326	676
		H 279-1	1507	829	1296	889	1220	689
		Irma 772	1226	614	1057	531	1056	696
		Irma A 1042	1147	702	1023	643	991	653
		Mar 88-214	1007	782	820	884	1163	711
		Oultan	728	535	635	654	587	411
		Rockett	1018	801	1045	525	1158	609
		S 188	1267	679	1082	795	1312	794
		Stam 18 A	1385	820	1132	652	1226	758
Okpara	2002	Chaco 520	1598	1221	1973	1400	1944	1578
		Guazuncho 2	2264	999	2048	1843	2388	1801
		H 279-1	2141	1061	2353	1432	2366	1656
		Irma 772	2090	976	1643	1436	1737	1574
		Irma A 1042	2269	1005	2377	1505	2357	1558
		Mar 88-214	1751	1430	2105	1697	2142	1745
		Oultan	1655	1294	1421	1830	1716	1713
		Rockett	1599	1446	1927	1595	2121	1645
		S 188	2055	914	1864	1388	1986	1435
		Stam 18 A	2109	1478	2386	1510	2380	1741
Okpara	2003	Chaco 520	2026	1185	2248	1514	2238	1582
		Guazuncho 2	2527	1516	2593	1664	2412	1830
		H 279-1	2829	1544	3003	1971	3062	1833
		Irma 772	2287	1500	1994	1442	1819	1594
		Irma A 1042	2491	1564	2578	1643	2399	1796
		Mar 88-214	2068	1291	2164	1604	2170	1591
		Oultan	1905	1245	1918	1726	1833	1559
		Rockett	2204	1476	2524	1596	2394	1689
		S 188	2100	1107	2586	1612	2299	1547
		Stam 18 A	2687	1649	2693	1662	2633	1862



### Hauteur moyenne des plants (HT)

		42000		120000		167000	
		précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
2002	Cana	Variété					
		Chaco 520	93,7 68,8	69,1 52,3	76,7 60,3		
		Guazuncho 2	97,9 85,2	91,1 55,5	78,3 60,2		
		H 279-1	106,5 92,7	103,2 72,9	99,5 77,4		
		Irma 772	125,5 97,3	100,9 77,9	98,5 75,4		
		Irma A 1042	106,6 94,6	91,8 71,5	88,5 80,8		
		Mar 88-214	77,5 57,3	70,0 49,0	68,3 48,8		
		Oultan	140,2 82,5	103,0 55,7	100,8 67,6		
		Rockett	96,5 73,9	77,9 59,6	75,1 58,7		
		S 188	106,1 88,7	93,8 71,5	87,6 67,1		
		Stam 18 A	114,2 93,0	90,5 75,0	88,5 90,3		

		42000		120000		167000	
		précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
2003	Cana	Variété					
		Chaco 520	66,2 58,5	56,7 38,6	46,3 41,3		
		Guazuncho 2	69,2 65,4	57,5 44,1	45,4 43,0		
		H 279-1	81,3 73,5	62,9 54,1	53,1 50,3		
		Irma 772	85,9 77,4	64,2 52,7	57,9 50,1		
		Irma A 1042	95,0 69,2	68,0 49,0	64,9 57,0		
		Mar 88-214	48,7 55,7	46,8 40,3	39,9 36,5		
		Oultan	84,9 69,4	61,7 55,0	54,9 45,3		
		Rockett	66,5 60,3	60,1 38,2	47,8 39,3		
		S 188	87,4 74,5	58,6 56,1	60,3 56,3		
		Stam 18 A	86,9 79,0	65,6 47,1	63,1 51,3		

		42000		120000		167000	
		précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
2002	Okpara	Variété					
		Chaco 520	74,3 75,5	64,0 63,7	60,7 53,7		
		Guazuncho 2	86,9 71,7	69,3 64,5	72,1 73,3		
		H 279-1	95,7 77,3	84,7 74,7	77,3 73,7		
		Irma 772	105,7 100,4	87,3 82,0	76,7 71,7		
		Irma A 1042	101,7 86,1	84,3 85,7	82,0 77,0		
		Mar 88-214	63,1 69,1	49,3 52,7	51,0 52,0		
		Oultan	103,7 104,3	82,7 84,9	77,8 79,0		
		Rockett	69,0 71,3	62,3 62,3	56,9 47,3		
		S 188	98,3 82,5	85,3 76,5	75,7 80,0		
		Stam 18 A	95,1 90,2	90,9 73,4	81,9 86,7		

		42000		120000		167000	
		précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
2003	Okpara	Variété					
		Chaco 520	81,3 79,0	66,7 69,7	67,3 70,3		
		Guazuncho 2	99,7 93,3	80,0 72,0	80,0 70,0		
		H 279-1	105,7 98,7	95,7 84,7	102,3 83,3		
		Irma 772	119,3 109,0	106,3 89,7	84,7 86,3		
		Irma A 1042	114,0 104,0	108,7 83,3	98,0 96,0		
		Mar 88-214	72,7 68,0	66,7 59,3	56,0 49,0		
		Oultan	112,3 105,0	90,3 95,7	89,7 78,7		
		Rockett	85,0 81,0	76,7 61,3	73,3 65,0		
		S 188	108,0 90,0	90,7 86,3	88,7 80,0		
		Stam 18 A	107,3 106,3	101,0 82,0	102,0 87,3		

# Hauteur d'entrenocuds (HNR)

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	4,2	3,5	3,6	3,4	3,7	3,6
		Guazuncho 2	4,3	4,1	4,2	3,2	4,0	3,5
		H 279-1	4,3	4,0	4,1	3,9	4,4	4,1
		Irma 772	4,8	4,1	4,0	3,7	4,1	3,8
		Irma A 1042	4,7	4,6	4,6	3,8	4,4	4,3
		Mar 88-214	3,7	3,1	3,5	2,8	3,6	3,1
		Oultan	5,5	3,9	4,6	3,3	4,6	4,0
		Rockett	4,1	3,7	4,0	3,4	3,8	3,4
		S 188	4,8	4,4	4,8	4,2	4,4	4,0
		Stam 18 A	4,5	4,1	4,0	4,2	3,9	4,4

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	4,1	3,7	3,5	3,1	3,1	3,2
		Guazuncho 2	4,2	4,1	3,4	3,4	3,1	3,4
		H 279-1	4,2	4,1	3,7	3,8	3,1	3,7
		Irma 772	3,8	4,1	3,3	3,5	3,2	3,4
		Irma A 1042	4,5	4,0	4,1	3,4	3,7	3,9
		Mar 88-214	3,0	3,5	3,0	3,1	2,6	2,9
		Oultan	4,5	4,2	3,3	3,8	3,0	3,5
		Rockett	3,7	3,8	3,6	3,0	3,0	3,1
		S 188	5,0	4,4	3,8	4,2	3,8	4,5
		Stam 18 A	4,4	4,3	3,7	3,4	3,8	3,6

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,3	4,9	5,2	4,9	5,0	4,4
		Guazuncho 2	5,7	4,5	5,1	4,6	5,4	5,2
		H 279-1	5,5	4,7	5,6	4,8	5,4	5,0
		Irma 772	5,9	5,8	6,6	5,6	5,7	4,7
		Irma A 1042	5,8	5,2	5,6	5,2	5,5	5,1
		Mar 88-214	4,6	4,2	4,0	3,9	4,2	4,2
		Oultan	7,0	6,2	6,0	5,8	6,1	5,9
		Rockett	4,8	4,5	4,7	4,5	4,6	3,9
		S 188	6,2	5,2	6,2	5,3	6,2	5,6
		Stam 18 A	5,7	5,0	5,8	5,2	5,8	5,5

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,2	5,4	4,9	5,1	5,2	5,3
		Guazuncho 2	6,2	5,6	5,5	5,2	6,0	5,2
		H 279-1	5,6	5,6	6,0	5,6	6,4	5,6
		Irma 772	6,1	5,9	6,4	5,3	5,1	5,6
		Irma A 1042	6,3	5,6	6,7	5,6	6,4	6,1
		Mar 88-214	4,7	4,4	5,0	4,5	4,2	4,2
		Oultan	6,8	6,5	6,4	6,4	6,5	6,3
		Rockett	5,2	5,2	5,6	4,6	5,3	5,0
		S 188	6,4	5,7	6,2	6,0	6,2	5,7
		Stam 18 A	5,8	6,0	6,3	5,4	6,2	5,9



**Nombre de nœuds sur la tige principale (NN)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	22,1	19,6	18,9	15,7	20,5	16,9
		Guazuncho 2	23,0	20,9	21,5	17,2	19,5	17,0
		H 279-1	24,5	23,0	25,1	18,9	22,7	18,9
		Irma 772	26,4	23,9	25,3	20,8	24,1	19,7
		Irma A 1042	22,9	20,9	20,4	18,5	20,2	19,0
		Mar 88-214	21,3	18,7	20,2	17,7	18,9	15,5
		Oultan	25,5	21,1	22,4	16,7	21,6	16,7
		Rockett	23,5	19,8	19,3	17,3	20,1	17,6
		S 188	22,0	20,2	20,1	17,0	20,4	16,7
		Stam 18 A	25,3	22,9	23,1	18,1	22,6	20,6

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	16,3	15,7	16,7	12,5	14,9	13,1
		Guazuncho 2	16,3	15,7	17,1	13,1	14,8	12,6
		H 279-1	19,6	17,9	16,9	14,3	17,3	13,6
		Irma 772	22,4	19,0	19,5	15,1	18,4	14,5
		Irma A 1042	20,8	17,5	16,9	14,3	17,6	14,5
		Mar 88-214	16,4	15,8	16,2	13,1	15,3	12,6
		Oultan	19,5	16,7	18,7	14,3	17,6	12,9
		Rockett	18,3	15,9	16,7	12,5	15,5	12,5
		S 188	17,5	17,0	15,5	13,3	16,1	12,5
		Stam 18 A	19,6	18,3	17,7	13,5	16,4	14,2

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	14,2	15,3	12,4	13,0	12,1	12,1
		Guazuncho 2	15,3	15,8	13,7	14,2	13,4	14,1
		H 279-1	17,7	16,5	15,1	15,7	14,1	14,7
		Irma 772	17,7	17,4	14,2	14,8	13,5	15,2
		Irma A 1042	17,3	16,8	14,9	16,5	14,7	15,1
		Mar 88-214	13,7	16,1	12,3	13,5	12,1	12,5
		Oultan	14,9	16,9	13,9	14,5	12,8	13,3
		Rockett	14,5	15,6	13,4	13,7	12,4	12,1
		S 188	16,1	16,0	13,8	14,7	12,5	14,5
		Stam 18 A	16,8	18,0	15,6	14,1	14,3	15,9

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	15,7	14,7	13,6	13,6	13,1	13,3
		Guazuncho 2	16,1	16,7	14,6	13,9	13,6	13,5
		H 279-1	18,9	17,9	15,9	15,2	16,1	15,2
		Irma 772	19,7	18,5	16,5	17,1	16,8	15,5
		Irma A 1042	18,2	18,5	16,1	15,0	15,4	15,8
		Mar 88-214	15,6	15,4	13,2	13,5	14,0	11,9
		Oultan	16,6	16,3	13,9	14,9	13,8	12,5
		Rockett	16,3	15,7	14,1	13,4	13,8	13,1
		S 188	17,0	15,9	14,7	14,7	14,4	14,2
		Stam 18 A	18,6	17,7	16,0	15,4	16,4	14,9

# **Nombre de branches végétatives (NBV)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	1,7	0,8	0,8	0,3	0,7	0,3
		Guazuncho 2	1,1	0,6	1,1	0,2	0,6	0,0
		H 279-1	1,7	1,3	1,7	0,5	1,5	0,1
		Irma 772	0,8	0,3	0,5	0,0	0,4	0,1
		Irma A 1042	2,1	0,5	0,9	0,1	1,0	0,3
		Mar 88-214	1,2	0,7	1,0	0,3	0,5	0,1
		Oultan	1,3	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1
		Rockett	1,9	0,3	0,9	0,5	0,7	0,2
		S 188	2,3	0,8	1,1	0,7	0,8	0,2
		Stam 18 A	2,1	1,1	1,5	0,3	1,5	0,7

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	0,6	0,8	0,6	0,3	0,6	0,5
		Guazuncho 2	0,9	1,1	0,1	0,5	0,1	0,6
		H 279-1	0,9	0,9	0,5	0,6	0,1	0,6
		Irma 772	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2
		Irma A 1042	0,9	0,7	0,3	0,2	0,1	0,5
		Mar 88-214	0,5	0,7	0,3	0,7	0,1	0,3
		Oultan	0,3	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1
		Rockett	0,9	1,3	0,2	0,1	0,1	0,3
		S 188	1,1	1,3	0,1	0,4	0,4	0,4
		Stam 18 A	1,3	1,4	0,5	0,7	0,3	0,9

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	1,3	1,9	1,1	0,9	0,8	1,3
		Guazuncho 2	1,5	1,6	0,8	1,1	0,7	1,1
		H 279-1	2,0	2,5	1,0	1,8	1,2	1,6
		Irma 772	0,9	1,3	0,7	1,0	0,7	0,8
		Irma A 1042	1,9	1,9	1,1	1,6	1,0	1,3
		Mar 88-214	0,8	1,4	0,5	0,9	0,6	0,5
		Oultan	1,1	1,6	0,7	0,9	0,4	0,5
		Rockett	1,5	1,7	0,9	1,3	0,9	0,7
		S 188	2,1	1,9	1,1	1,8	1,0	1,3
		Stam 18 A	2,3	2,6	1,6	1,8	0,9	2,0

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	1,7	1,2	0,6	5,9	1,1	0,8
		Guazuncho 2	1,3	1,2	0,9	0,7	4,7	0,9
		H 279-1	2,1	2,3	1,6	1,5	1,7	4,1
		Irma 772	1,8	1,9	0,9	1,2	0,5	0,9
		Irma A 1042	2,1	2,1	1,4	0,7	1,1	1,1
		Mar 88-214	1,3	1,5	0,5	0,9	0,4	0,9
		Oultan	1,3	0,6	0,3	0,6	0,5	0,4
		Rockett	1,5	1,2	1,3	0,5	0,9	1,1
		S 188	2,4	1,7	1,1	1,6	0,9	0,9
		Stam 18 A	2,6	2,2	2,1	1,5	1,8	1,5



# Longueur de branche végétative (LBV)

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	47,9	38,5	19,3	14,3	21,3	20,2
		Guazuncho 2	54,8	44,3	41,9	25,0	24,9	
		H 279-1	58,3	54,6	46,2	26,7	43,7	35,5
		Irma 772	65,2	47,5	16,3		22,2	26,0
		Irma A 1042	65,5	53,9	25,8	21,0	29,6	20,3
		Mar 88-214	40,7	28,8	26,1	20,3	29,5	23,0
		Oultan	68,5	35,5	30,3		8,5	22,5
		Rockett	60,2	30,8	39,3	29,8	20,0	26,0
		S 188	57,5	55,0	34,8	27,9	23,4	29,0
		Stam 18 A	70,9	56,6	26,5	28,5	35,7	32,5

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	27,7	27,8	19,8	13,9	11,3	14,9
		Guazuncho 2	33,0	36,3	18,5	18,1	13,5	12,9
		H 279-1	37,7	35,7	22,5	20,4	15,0	17,9
		Irma 772	34,8	33,8	30,0	21,0	12,0	21,0
		Irma A 1042	49,2	42,1	33,5	20,0	33,0	19,7
		Mar 88-214	19,9	26,8	23,0	14,6	15,0	13,2
		Oultan	32,8	31,8	23,0	24,0		25,0
		Rockett	35,5	24,9	31,3	10,0	15,0	12,2
		S 188	37,6	31,7	23,5	30,3	29,0	17,4
		Stam 18 A	37,2	39,9	18,8	14,6	15,7	17,5

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	41,2	41,7	18,5	23,9	11,6	12,3
		Guazuncho 2	51,1	48,1	24,6	32,3	24,3	22,5
		H 279-1	55,0	42,0	35,0	32,1	26,1	30,3
		Irma 772	41,4	42,3	13,3	21,2	15,1	10,7
		Irma A 1042	62,0	45,5	26,7	34,7	26,7	21,3
		Mar 88-214	28,5	35,3	11,9	20,6	14,2	10,0
		Oultan	49,3	39,3	19,2	30,5	19,6	19,6
		Rockett	38,5	38,0	15,7	20,3	14,8	10,7
		S 188	54,8	44,0	21,8	26,1	17,1	21,0
		Stam 18 A	51,5	59,1	26,0	23,8	18,7	31,3

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	46,2	37,9	23,9	21,3	16,3	16,1
		Guazuncho 2	51,7	43,3	24,0	25,4	12,4	19,2
		H 279-1	54,3	46,3	31,6	29,7	30,3	21,0
		Irma 772	60,2	54,2	21,7	25,7	20,3	12,2
		Irma A 1042	68,7	59,1	33,1	21,3	19,4	21,4
		Mar 88-214	40,6	44,5	20,8	19,2	15,8	12,9
		Oultan	54,8	47,1	46,3	37,5	20,8	11,7
		Rockett	54,2	40,4	28,1	15,0	20,5	16,8
		S 188	64,6	42,4	37,5	25,4	19,4	20,6
		Stam 18 A	64,0	54,2	31,7	31,9	33,3	18,3

# **Longueur de branche fructifère (LBF)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	34,3	29,1	14,5	15,3	20,5	15,9
		Guazuncho 2	33,7	37,3	26,6	16,2	19,6	18,5
		H 279-1	44,0	41,9	28,4	24,6	30,5	25,0
		Irma 772	36,7	36,7	19,0	18,9	18,8	17,3
		Irma A 1042	39,5	39,0	21,7	22,5	24,0	22,3
		Mar 88-214	28,3	25,8	21,9	14,1	19,1	13,3
		Oultan	15,8	13,3	13,3	7,7	12,7	7,9
		Rockett	35,6	31,8	21,0	16,7	17,8	16,9
		S 188	39,5	38,0	25,3	26,0	20,3	21,5
		Stam 18 A	41,1	41,6	23,6	21,5	20,6	26,4

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	19,2	24,9	11,5	11,5	9,0	13,4
		Guazuncho 2	23,3	27,6	10,9	11,9	9,3	13,9
		H 279-1	31,9	28,3	13,5	17,3	9,3	15,1
		Irma 772	18,7	24,3	10,9	11,1	8,5	10,3
		Irma A 1042	27,9	29,1	13,4	14,5	12,3	17,7
		Mar 88-214	15,7	24,1	11,7	13,3	9,3	12,5
		Oultan	5,6	6,4	4,3	4,7	3,9	5,1
		Rockett	20,5	23,1	13,0	9,5	8,7	11,4
		S 188	25,7	31,2	12,3	18,6	13,0	16,0
		Stam 18 A	24,3	29,3	13,3	13,1	12,1	15,0

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	28,3	30,6	16,7	17,3	15,3	15,7
		Guazuncho 2	42,1	32,0	21,7	21,3	17,5	18,7
		H 279-1	46,3	33,3	28,3	25,0	21,1	21,3
		Irma 772	33,7	36,9	18,7	20,9	16,1	14,0
		Irma A 1042	42,3	34,8	21,3	23,3	19,2	19,3
		Mar 88-214	27,4	30,7	14,0	18,0	15,0	15,7
		Oultan	12,3	15,4	8,7	12,7	8,7	11,7
		Rockett	28,7	29,3	21,0	19,7	16,2	13,3
		S 188	37,7	35,5	26,7	20,2	19,3	20,7
		Stam 18 A	40,0	39,9	24,3	19,7	20,4	23,7

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	31,3	26,7	17,7	16,3	17,3	16,0
		Guazuncho 2	36,0	31,3	19,0	17,3	16,7	14,3
		H 279-1	35,9	34,0	23,7	21,7	24,3	16,7
		Irma 772	37,7	32,3	21,3	19,3	16,0	15,0
		Irma A 1042	42,3	35,3	21,7	19,0	22,0	18,7
		Mar 88-214	30,0	25,7	18,3	17,3	17,7	12,3
		Oultan	15,7	16,0	13,0	12,0	9,7	13,7
		Rockett	31,3	30,3	19,7	17,0	18,7	15,7
		S 188	42,0	26,3	21,7	23,0	21,3	20,0
		Stam 18 A	35,7	34,7	20,0	20,7	20,7	18,7



# Nœud d'insertion de la première BF (NPBF)

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,1	5,1	5,3	5,1	5,0	5,0
		Guazuncho 2	4,9	5,1	5,1	5,0	5,3	5,1
		H 279-1	5,5	5,7	6,0	5,7	5,9	5,5
		Irma 772	5,7	5,5	5,8	5,8	5,4	5,9
		Irma A 1042	6,3	5,2	5,7	6,0	6,1	6,1
		Mar 88-214	5,3	5,2	4,9	5,1	5,1	5,1
		Oultan	4,8	4,9	4,7	4,7	4,7	4,5
		Rockett	5,5	5,3	5,6	5,4	5,3	5,5
		S 188	5,9	5,2	5,6	5,1	5,3	5,0
		Stam 18 A	5,5	5,8	6,3	5,8	6,4	6,1

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,0	4,9	5,0	5,3	5,0	5,2
		Guazuncho 2	4,9	5,1	5,5	5,3	4,9	5,0
		H 279-1	5,4	5,1	5,1	5,4	5,3	5,6
		Irma 772	5,5	5,4	5,3	5,7	5,5	5,9
		Irma A 1042	5,7	5,6	5,7	5,7	6,1	5,7
		Mar 88-214	4,8	4,7	4,9	4,9	4,8	4,8
		Oultan	4,4	4,5	4,9	4,7	4,6	4,7
		Rockett	4,9	5,1	4,7	5,1	5,1	5,3
		S 188	5,3	5,7	5,2	5,5	5,3	5,1
		Stam 18 A	5,9	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	4,5	4,8	4,5	4,6	4,8	4,9
		Guazuncho 2	4,6	5,1	4,7	4,9	4,8	5,0
		H 279-1	5,5	6,0	5,1	5,9	5,1	5,7
		Irma 772	5,3	5,3	5,5	5,4	5,7	5,7
		Irma A 1042	5,8	5,9	5,6	6,1	5,8	5,9
		Mar 88-214	4,3	4,6	4,9	4,6	4,7	4,9
		Oultan	4,1	4,6	4,3	4,3	4,3	4,5
		Rockett	4,9	5,1	4,8	5,3	5,1	5,3
		S 188	5,2	5,3	5,1	5,2	4,9	4,9
		Stam 18 A	5,6	6,2	5,4	5,9	5,1	6,3

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,3	4,9	5,0	5,0	5,1	4,9
		Guazuncho 2	4,9	5,1	5,0	4,9	4,9	4,9
		H 279-1	6,0	6,0	6,1	5,3	5,5	5,6
		Irma 772	6,0	5,6	5,2	6,2	5,8	5,7
		Irma A 1042	6,1	6,1	5,9	5,7	5,5	6,2
		Mar 88-214	4,9	5,1	4,8	4,7	4,7	4,7
		Oultan	4,7	4,0	4,7	4,3	4,5	4,1
		Rockett	5,3	4,9	5,4	4,5	5,3	5,3
		S 188	5,9	5,5	5,1	5,3	5,5	4,9
		Stam 18 A	6,4	5,9	6,3	5,5	6,2	5,5

**Date d'apparition de la première fleur (PFM)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	56,7	55,7	56,0	57,7	57,0	58,7
		Guazuncho 2	55,3	60,7	54,3	58,0	58,0	58,3
		H 279-1	56,7	59,0	57,3	63,7	57,7	65,0
		Irma 772	58,7	59,3	58,3	62,3	60,7	65,0
		Irma A 1042	56,7	58,7	58,3	66,7	60,0	64,0
		Mar 88-214	55,3	54,3	55,3	56,0	54,3	58,0
		Oultan	53,7	54,7	52,0	55,0	52,3	55,0
		Rockett	56,3	57,3	56,3	61,3	56,3	60,7
		S 188	60,7	62,0	60,0	64,7	59,3	66,3
		Stam 18 A	58,7	59,7	60,3	63,0	61,3	64,3

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	55,0	58,7	53,7	61,3	56,0	62,3
		Guazuncho 2	54,7	56,7	56,3	61,7	55,7	64,0
		H 279-1	54,0	60,0	54,3	63,7	60,3	64,0
		Irma 772	55,3	62,3	56,0	64,7	59,0	63,7
		Irma A 1042	56,3	61,0	57,3	66,7	61,3	65,0
		Mar 88-214	53,3	57,7	53,3	60,0	53,3	61,7
		Oultan	50,7	56,3	51,0	56,7	52,7	60,3
		Rockett	55,3	59,3	55,3	64,3	57,3	64,3
		S 188	59,0	60,0	57,7	62,0	60,0	63,7
		Stam 18 A	57,0	60,7	57,0	65,7	59,0	65,0

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	56,3	56,7	54,7	56,7	57,0	58,0
		Guazuncho 2	54,3	54,3	56,3	55,7	57,0	56,0
		H 279-1	57,0	61,7	54,0	61,3	55,0	63,3
		Irma 772	55,0	57,0	57,3	58,7	59,7	61,0
		Irma A 1042	57,7	60,0	59,0	59,7	62,0	60,0
		Mar 88-214	54,7	54,3	53,7	55,0	55,3	57,0
		Oultan	51,0	52,7	51,7	54,3	54,3	54,0
		Rockett	55,7	55,3	54,7	56,3	57,7	60,3
		S 188	58,0	59,7	58,7	60,3	61,3	61,3
		Stam 18 A	58,7	58,7	58,0	59,7	61,0	59,3

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	58,3	63,0	60,0	63,3	62,3	64,3
		Guazuncho 2	59,0	62,3	61,7	64,0	61,7	65,0
		H 279-1	62,3	65,0	63,7	64,7	64,7	67,7
		Irma 772	61,3	63,0	64,0	66,3	66,3	66,7
		Irma A 1042	62,3	64,7	66,3	67,0	67,7	69,0
		Mar 88-214	57,3	59,0	58,3	60,3	59,3	63,7
		Oultan	55,0	57,3	56,3	58,0	57,3	60,0
		Rockett	60,0	61,0	61,7	63,7	61,3	65,3
		S 188	63,7	65,7	64,3	65,7	64,7	66,7
		Stam 18 A	62,7	62,3	66,3	66,7	64,7	68,3



# Date d'ouverture de la première capsule (OPCM)

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	100,7	97,3	104,3	99,7	109,0	102,3
		Guazuncho 2	99,7	102,3	101,3	101,7	109,3	103,0
		H 279-1	103,3	99,0	104,0	106,7	104,3	110,0
		Irma 772	104,7	101,7	108,7	107,0	112,7	114,0
		Irma A 1042	103,7	102,3	107,7	111,7	110,3	109,7
		Mar 88-214	98,0	96,3	102,3	100,7	103,0	101,7
		Oultan	98,3	96,7	100,7	98,0	103,0	99,3
		Rockett	100,7	99,3	103,3	105,0	106,7	104,7
		S 188	105,7	104,7	110,3	108,7	111,0	112,7
		Stam 18 A	105,3	102,3	109,0	108,3	111,7	111,7

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	96,0	97,3	101,7	101,7	103,0	103,3
		Guazuncho 2	96,5	96,0	103,0	103,0	104,0	105,7
		H 279-1	95,7	99,0	102,7	103,3	107,3	104,3
		Irma 772	99,7	100,3	103,3	106,7	105,7	107,0
		Irma A 1042	102,0	101,3	105,7	107,3	112,3	107,0
		Mar 88-214	95,0	96,3	99,3	100,7	99,3	101,3
		Oultan	93,7	95,7	99,3	98,0	101,3	102,7
		Rockett	96,0	99,3	100,0	103,7	104,3	104,3
		S 188	103,3	102,3	105,3	105,7	109,7	106,7
		Stam 18 A	99,7	100,7	103,7	107,3	106,0	106,7

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	105,0	99,3	105,0	101,3	108,0	102,0
		Guazuncho 2	103,3	98,7	106,0	100,0	107,3	101,0
		H 279-1	105,3	102,7	105,3	105,3	106,3	106,3
		Irma 772	106,3	100,7	111,0	105,3	114,0	108,3
		Irma A 1042	108,7	106,7	112,3	105,7	115,0	104,0
		Mar 88-214	100,0	97,3	102,3	99,0	105,7	100,7
		Oultan	101,3	96,3	106,0	99,7	110,7	99,0
		Rockett	101,3	99,3	105,7	99,7	108,3	102,0
		S 188	108,3	105,7	110,7	108,0	116,0	108,0
		Stam 18 A	108,0	103,7	110,7	106,0	114,0	104,3

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	109,7	105,3	111,3	106,3	112,3	108,3
		Guazuncho 2	110,7	105,7	112,0	107,3	112,3	108,0
		H 279-1	111,0	105,7	114,3	108,7	116,0	110,3
		Irma 772	112,7	106,7	117,7	114,0	118,7	116,0
		Irma A 1042	115,3	109,0	117,7	113,3	118,7	116,3
		Mar 88-214	107,7	100,3	109,0	103,3	110,0	105,0
		Oultan	107,0	100,3	110,0	103,7	110,3	105,0
		Rockett	110,3	102,0	112,3	106,3	112,0	108,0
		S 188	114,3	110,0	118,0	113,0	115,0	115,0
		Stam 18 A	113,3	106,3	118,3	112,0	117,3	113,7

**Date de la dernière fleur en première position (DDFP1)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	-	83,3	-	81,4	-	86,3
		Guazuncho 2	-	96,7	-	91,4	-	91,5
		H 279-1	-	94,4	-	92,5	-	92,4
		Irma 772	-	89,5	-	100,9	-	84,3
		Irma A 1042	-	89,2	-	90,9	-	89,3
		Mar 88-214	-	84,3	-	86,1	-	79,5
		Oultan	-	81,8	-	86,5	-	83,2
		Rockett	-	84,5	-	96,2	-	86,8
		S 188	-	87,5	-	91,8	-	89,2
		Stam 18 A	-	89,8	-	85,7	-	91,7

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	82,1	78,0	83,0	71,8	79,5	76,5
		Guazuncho 2	80,8	77,3	92,7	75,4	84,3	80,6
		H 279-1	90,1	83,0	89,5	81,7	99,2	75,0
		Irma 772	96,5	86,1	94,8	79,1	86,7	78,5
		Irma A 1042	104,4	85,0	96,3	79,4	101,0	80,8
		Mar 88-214	70,9	76,5	80,7	72,2	77,4	73,8
		Oultan	81,8	77,9	89,9	70,8	76,0	75,7
		Rockett	83,8	79,4	77,5	83,7	90,0	73,9
		S 188	86,9	82,9	89,0	76,2	85,9	80,3
		Stam 18 A	85,2	83,5	93,1	81,2	92,3	73,9

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	80,1	79,8	70,5	71,0	73,5	67,7
		Guazuncho 2	81,4	76,2	79,1	72,6	80,2	73,9
		H 279-1	89,5	82,8	79,8	85,2	79,1	78,7
		Irma 772	82,2	83,5	79,7	76,0	80,2	74,1
		Irma A 1042	86,1	80,1	81,9	77,4	82,0	75,9
		Mar 88-214	73,3	75,1	66,0	69,2	71,7	65,7
		Oultan	77,4	84,9	77,4	74,0	76,1	71,9
		Rockett	78,2	78,2	72,5	72,4	73,4	69,2
		S 188	81,6	81,4	81,5	80,9	77,8	75,7
		Stam 18 A	86,2	78,6	84,0	76,2	82,0	78,6

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	86,5	80,1	82,5	75,7	79,2	74,9
		Guazuncho 2	91,3	81,6	88,9	75,4	82,9	75,3
		H 279-1	96,2	85,7	91,2	79,1	95,6	82,6
		Irma 772	94,0	86,4	95,0	81,7	97,8	83,3
		Irma A 1042	92,7	86,7	95,3	80,0	90,0	84,5
		Mar 88-214	81,6	75,5	77,2	74,4	77,1	72,0
		Oultan	88,1	79,6	80,8	74,0	78,9	71,8
		Rockett	87,1	79,7	86,4	76,0	84,1	74,1
		S 188	89,9	81,2	90,0	81,4	83,9	79,3
		Stam 18 A	92,6	83,8	93,2	79,6	86,5	80,6



# **Temps de floraison utile (TFU)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	-	27,6	-	23,7	-	27,6
		Guazuncho 2	-	36,0	-	33,4	-	33,2
		H 279-1	-	35,4	-	28,8	-	27,4
		Irma 772	-	30,2	-	38,6	-	19,3
		Irma A 1042	-	30,6	-	24,2	-	25,3
		Mar 88-214	-	30,0	-	30,1	-	21,5
		Oultan	-	27,2	-	31,5	-	28,2
		Rockett	-	27,2	-	34,9	-	26,1
		S 188	-	25,5	-	27,1	-	22,9
		Stam 18 A	-	30,2	-	22,7	-	27,3

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	27,1	19,4	29,5	10,4	23,5	14,2
		Guazuncho 2	26,2	20,6	36,4	13,7	28,6	16,1
		H 279-1	36,1	23,0	35,2	18,1	38,9	11,0
		Irma 772	41,2	23,8	38,8	14,4	22,7	14,8
		Irma A 1042	48,1	24,0	39,0	12,7	39,7	15,8
		Mar 88-214	17,6	18,8	27,4	12,2	24,1	12,2
		Oultan	31,1	21,6	38,9	14,1	22,0	15,4
		Rockett	28,5	20,0	22,5	19,4	32,7	9,5
		S 188	26,9	22,9	31,3	15,2	25,9	16,3
		Stam 18 A	28,2	22,8	36,1	15,5	33,3	8,9

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	23,8	23,2	15,9	14,3	16,5	9,7
		Guazuncho 2	27,1	21,9	22,7	16,9	23,2	17,9
		H 279-1	32,5	21,1	25,8	23,9	24,1	15,4
		Irma 772	27,2	26,5	22,3	17,3	20,5	13,1
		Irma A 1042	28,5	20,1	22,9	17,7	20,0	15,9
		Mar 88-214	18,6	20,8	12,3	14,2	16,3	8,7
		Oultan	26,4	32,2	25,7	19,7	21,7	17,9
		Rockett	22,5	22,9	17,8	16,0	15,8	8,9
		S 188	23,6	21,7	22,8	20,5	16,5	14,4
		Stam 18 A	27,5	19,9	26,0	16,5	21,0	19,3

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	28,2	17,1	22,5	12,3	16,8	10,5
		Guazuncho 2	32,3	19,3	27,2	11,4	21,2	10,3
		H 279-1	33,8	20,7	27,5	14,4	30,9	15,0
		Irma 772	32,7	23,4	31,0	15,3	31,4	16,6
		Irma A 1042	30,4	22,0	29,0	13,0	22,3	15,5
		Mar 88-214	24,3	16,5	18,8	14,1	17,8	8,3
		Oultan	33,1	22,3	24,5	16,0	21,6	11,8
		Rockett	27,1	18,7	24,7	12,3	22,8	8,8
		S 188	26,2	15,5	25,7	15,7	19,2	12,6
		Stam 18 A	29,9	21,4	26,9	12,9	21,8	12,3

**Précocité de production (R1/RT)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	69,2	75,7	80,2	84,8	77,9	81,1
		Guazuncho 2	67,2	58,7	65,2	69,4	74,2	69,6
		H 279-1	63,5	73,3	72,6	63,4	68,8	68,8
		Irma 772	56,6	74,5	74,4	61,7	70,1	77,4
		Irma A 1042	67,8	59,8	70,4	55,9	69,6	59,9
		Mar 88-214	77,5	89,5	79,1	76,6	84,6	80,4
		Oultan	48,9	87,0	55,8	79,0	68,6	77,5
		Rockett	69,6	73,0	73,5	78,0	76,0	63,6
		S 188	70,6	56,2	72,4	56,8	76,4	67,5
		Stam 18 A	62,8	67,0	63,6	59,8	74,8	54,5

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	95,7	92,2	84,6	95,9	94,2	94,0
		Guazuncho 2	92,7	85,6	73,7	98,7	87,1	99,7
		H 279-1	82,9	83,0	75,8	95,7	93,9	97,9
		Irma 772	80,0	84,8	79,2	94,4	84,5	95,5
		Irma A 1042	58,7	81,3	78,1	94,0	46,3	90,5
		Mar 88-214	97,7	88,9	90,7	98,4	90,5	98,9
		Oultan	92,1	82,7	86,6	99,5	83,4	99,6
		Rockett	86,8	86,0	83,8	96,1	74,9	97,7
		S 188	80,9	67,1	90,0	94,3	77,0	91,7
		Stam 18 A	88,3	77,6	77,0	93,4	83,1	93,4

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	60,5	74,7	85,5	85,4	72,4	90,3
		Guazuncho 2	63,8	73,4	72,3	80,0	61,7	85,6
		H 279-1	44,9	41,7	67,7	74,6	66,4	79,8
		Irma 772	60,0	47,8	51,3	58,8	35,8	78,7
		Irma A 1042	29,9	40,2	38,6	62,2	31,3	62,2
		Mar 88-214	83,5	80,1	87,3	96,2	85,3	93,6
		Oultan	45,5	77,5	66,3	90,3	68,2	82,9
		Rockett	58,2	62,9	68,8	80,1	80,5	92,3
		S 188	50,2	47,8	43,0	52,7	36,2	66,2
		Stam 18 A	40,6	55,4	47,7	66,7	39,5	62,9

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	39,0	75,4	46,3	87,6	57,9	87,2
		Guazuncho 2	33,0	60,5	31,0	79,5	50,3	83,4
		H 279-1	18,4	56,9	34,5	70,9	22,8	59,0
		Irma 772	26,8	52,7	7,2	59,8	13,6	52,3
		Irma A 1042	16,0	45,8	7,3	54,6	8,1	46,0
		Mar 88-214	67,5	92,0	74,6	105,2	64,0	96,1
		Oultan	48,7	85,1	79,9	83,2	76,8	94,5
		Rockett	32,3	89,1	44,8	89,7	40,9	90,3
		S 188	16,3	51,5	16,7	62,0	26,1	57,8
		Stam 18 A	18,3	45,3	6,6	71,9	20,1	63,7



		Nombre de sites fructifères par plant (SPP)					
		42000		120000		167000	
		précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
2002	Cana						
	Variété						
	Chaco 520	75,5	47,4	34,4	20,5	38,3	23,3
	Guazuncho						
	2	67,0	49,3	45,1	23,3	32,6	21,9
	H 279-1	74,7	61,6	63,1	26,8	41,0	25,0
	Irma 772	69,0	46,4	37,7	26,7	34,1	21,3
	Irma A 1042	60,6	46,2	25,8	24,0	39,3	24,3
	Mar 88-214	60,9	41,4	48,0	27,9	33,0	21,7
	Oultan	59,1	24,9	28,3	15,2	27,7	16,8
	Rockett	82,6	40,7	43,8	24,5	37,8	21,7
	S 188	61,0	47,7	33,3	27,5	29,7	24,9
	Stam 18 A	78,9	60,8	49,2	23,5	55,2	29,2
2003	Cana						
	Variété						
	Chaco 520	35,0	32,4	27,0	13,5	18,3	14,5
	Guazuncho						
	2	36,3	36,1	19,5	15,0	16,3	12,6
	H 279-1	49,3	39,2	21,8	16,4	18,4	14,0
	Irma 772	41,7	32,6	23,5	12,5	17,9	14,0
	Irma A 1042	54,1	37,1	24,5	13,0	20,7	13,9
	Mar 88-214	28,0	33,8	24,9	16,5	17,4	13,1
	Oultan	23,9	22,4	17,3	12,1	16,5	10,0
	Rockett	41,1	34,3	25,5	11,1	20,1	11,4
	S 188	44,9	41,3	15,2	18,0	21,2	11,5
	Stam 18 A	44,3	46,1	23,1	17,0	18,0	13,4
2002	Okpara						
	Variété						
	Chaco 520	35,5	44,8	17,2	19,3	14,3	16,0
	Guazuncho						
	2	43,0	44,1	23,4	28,2	15,5	20,1
	H 279-1	49,4	45,0	23,2	34,1	20,1	24,6
	Irma 772	40,9	50,0	14,5	17,7	12,7	14,5
	Irma A 1042	47,3	47,7	18,2	35,1	17,8	21,5
	Mar 88-214	32,3	46,9	15,1	21,1	14,5	14,1
	Oultan	28,4	34,9	15,9	18,3	12,5	13,3
	Rockett	34,6	47,6	18,0	21,9	14,5	14,8
	S 188	41,6	44,5	16,8	25,4	13,4	24,2
	Stam 18 A	47,3	54,3	18,5	20,8	16,5	25,4
2003	Okpara						
	Variété						
	Chaco 520	35,9	30,8	17,0	19,5	13,3	14,4
	Guazuncho						
	2	39,6	40,3	15,9	16,3	13,1	12,7
	H 279-1	43,2	46,0	22,9	27,9	21,5	14,0
	Irma 772	46,4	47,5	16,3	16,8	13,4	15,2
	Irma A 1042	46,5	47,3	16,6	14,7	14,7	15,0
	Mar 88-214	40,7	37,3	18,4	19,9	12,8	10,9
	Oultan	27,3	23,7	12,1	18,3	11,3	11,3
	Rockett	36,6	37,0	19,7	15,9	16,7	12,7
	S 188	45,0	37,3	15,9	24,1	13,6	15,9
	Stam 18 A	46,6	45,0	15,6	26,5	15,3	15,1

**Taux de rétention global (RG)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	17,7	24,9	15,2	19,4	14,9	18,5
		Guazuncho						
		2	22,0	27,4	15,4	21,2	19,1	22,5
		H 279-1	23,2	18,9	16,6	16,2	14,3	15,1
		Irma 772	18,9	21,0	14,2	17,8	12,9	17,1
		Irma A 1042	25,2	25,6	15,0	21,5	15,8	17,5
		Mar 88-214	16,0	25,7	13,8	20,3	12,9	20,6
		Oultan	20,7	31,4	12,2	25,7	13,7	20,1
		Rockett	19,0	22,8	14,5	21,2	12,8	19,2
		S 188	18,1	20,5	15,0	18,7	14,3	19,3
		Stam 18 A	17,6	19,5	15,3	17,9	12,1	13,5

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	33,8	34,0	27,7	32,5	24,7	28,9
		Guazuncho						
		2	36,0	38,1	29,0	30,8	25,4	30,1
		H 279-1	32,1	27,8	25,4	28,5	20,3	28,3
		Irma 772	33,1	29,5	25,8	28,4	23,8	32,3
		Irma A 1042	33,3	41,1	26,5	34,3	25,4	30,2
		Mar 88-214	25,1	34,2	24,1	26,7	23,9	26,1
		Oultan	45,3	38,7	26,4	37,7	27,2	31,0
		Rockett	26,5	27,7	29,8	35,8	28,6	31,9
		S 188	27,1	28,2	31,9	30,1	26,8	30,4
		Stam 18 A	25,0	28,0	22,9	34,7	28,7	24,8

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	31,8	27,4	22,9	25,7	28,3	23,8
		Guazuncho						
		2	37,4	36,1	31,9	29,6	33,0	27,9
		H 279-1	36,4	28,2	30,4	24,0	28,3	23,5
		Irma 772	32,0	24,8	25,2	25,3	31,9	22,1
		Irma A 1042	36,0	25,5	35,8	23,8	32,6	26,9
		Mar 88-214	32,7	31,7	28,1	24,0	27,2	26,9
		Oultan	33,5	35,1	27,8	33,9	24,3	29,7
		Rockett	31,5	32,8	29,4	24,9	29,1	28,4
		S 188	28,1	23,3	26,5	20,7	23,6	22,6
		Stam 18 A	31,3	27,0	27,8	23,4	27,0	23,0

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	32,7	26,3	30,1	24,1	28,5	24,0
		Guazuncho						
		2	40,9	29,6	32,0	25,8	30,4	31,7
		H 279-1	35,4	26,2	28,3	19,7	26,2	24,4
		Irma 772	34,1	26,2	24,8	23,3	24,6	23,2
		Irma A 1042	38,0	29,8	32,3	28,4	29,7	27,5
		Mar 88-214	35,6	29,0	28,7	27,8	30,5	28,0
		Oultan	37,4	38,3	40,0	25,6	33,0	25,2
		Rockett	37,6	29,2	29,7	27,4	25,7	25,2
		S 188	30,2	22,9	32,2	20,9	28,3	23,4
		Stam 18 A	34,5	29,0	26,7	21,9	24,1	25,3



# Rétention sur la première position des branches fructifères (RP1)

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	37,9	36,2	28,5	29,5	22,7	32,7
		Guazuncho 2	34,5	36,3	27,7	34,6	29,3	33,9
		H 279-1	33,7	33,1	29,1	27,3	25,3	23,9
		Irma 772	33,0	31,8	22,0	26,6	18,4	24,8
		Irma A 1042	41,2	36,9	23,5	31,9	23,6	28,5
		Mar 88-214	26,7	37,9	23,4	29,9	21,5	27,2
		Oultan	30,7	34,3	16,0	27,8	14,1	25,2
		Rockett	32,0	31,6	25,5	36,9	21,9	27,6
		S 188	37,5	29,9	28,1	30,4	22,1	30,7
		Stam 18 A	32,9	32,2	31,8	25,9	23,7	23,3

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	52,3	55,1	35,8	44,1	34,3	40,2
		Guazuncho 2	47,5	60,1	38,1	43,3	34,7	46,7
		H 279-1	45,7	50,7	34,3	46,5	28,0	44,0
		Irma 772	48,0	46,8	30,0	33,9	26,4	37,5
		Irma A 1042	45,3	56,0	34,5	43,6	31,2	45,3
		Mar 88-214	38,4	52,5	33,4	40,8	30,8	35,4
		Oultan	44,8	43,4	27,2	38,9	28,6	32,0
		Rockett	43,1	48,1	39,2	44,0	35,7	42,5
		S 188	44,7	46,1	36,9	42,3	36,9	43,1
		Stam 18 A	43,5	50,6	32,6	49,5	36,9	39,7

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	58,8	61,2	41,5	50,2	49,2	45,4
		Guazuncho 2	63,1	60,0	59,0	53,9	51,8	53,0
		H 279-1	60,9	53,0	55,1	55,0	50,5	49,6
		Irma 772	57,2	50,0	37,8	44,1	43,9	32,6
		Irma A 1042	62,0	45,9	56,2	46,7	48,3	52,6
		Mar 88-214	53,5	56,3	42,7	46,4	45,0	45,7
		Oultan	44,9	53,4	32,5	49,7	32,9	38,5
		Rockett	53,6	55,2	47,8	52,9	52,8	49,5
		S 188	58,8	50,5	46,5	44,6	39,9	38,9
		Stam 18 A	63,8	47,3	53,0	48,1	44,3	48,0

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	67,0	54,8	52,0	46,6	49,8	39,2
		Guazuncho 2	70,0	57,9	50,8	46,0	47,0	42,8
		H 279-1	65,1	59,0	55,4	37,1	48,4	34,6
		Irma 772	54,5	52,1	35,0	37,4	30,1	30,6
		Irma A 1042	63,4	52,7	57,8	43,7	45,2	41,6
		Mar 88-214	55,0	51,9	40,0	47,6	42,3	34,5
		Oultan	59,3	51,2	48,7	35,0	38,0	29,7
		Rockett	60,5	55,1	54,7	42,6	41,2	43,3
		S 188	60,0	51,7	52,6	42,2	46,1	38,3
		Stam 18 A	66,1	56,6	54,3	40,3	45,1	42,3

# **Nombre moyen de capsules par plant (CPP)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	13,2	10,8	4,4	4,1	5,9	4,4
		Guazuncho 2	14,1	13,7	6,6	5,1	6,0	4,9
		H 279-1	17,2	11,1	8,9	4,7	6,7	3,8
		Irma 772	12,0	10,1	5,7	4,7	4,6	3,6
		Irma A 1042	14,3	11,5	4,3	5,3	4,6	4,3
		Mar 88-214	8,9	9,7	5,5	4,9	4,0	4,2
		Oultan	11,1	7,1	3,9	3,7	3,8	3,3
		Rockett	15,3	8,9	5,2	5,7	4,7	4,3
		S 188	11,1	9,1	4,8	5,5	4,1	4,6
		Stam 18 A	13,5	10,7	6,6	4,3	4,8	4,4

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	10,0	9,7	6,7	4,1	4,6	4,0
		Guazuncho 2	11,5	12,1	5,5	4,1	4,3	4,3
		H 279-1	13,4	9,5	5,3	4,8	3,9	4,1
		Irma 772	12,4	9,4	5,5	3,7	4,1	3,8
		Irma A 1042	17,1	13,1	4,8	4,6	4,5	4,9
		Mar 88-214	6,7	10,8	5,2	4,5	4,3	3,6
		Oultan	10,3	7,5	4,5	4,7	4,3	3,2
		Rockett	10,7	7,9	6,7	3,8	5,3	3,5
		S 188	9,3	9,5	4,7	4,2	5,2	3,7
		Stam 18 A	9,7	11,4	5,5	4,9	5,1	3,9

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	10,2	11,9	4,3	5,2	4,3	4,1
		Guazuncho 2	15,3	15,3	6,9	7,7	5,5	6,2
		H 279-1	17,9	12,3	7,7	7,6	5,6	5,7
		Irma 772	12,0	11,7	4,0	5,1	3,9	3,6
		Irma A 1042	16,2	11,2	6,3	7,2	5,2	5,9
		Mar 88-214	9,7	13,9	4,3	6,1	4,2	4,1
		Oultan	7,9	10,3	3,9	6,6	3,3	4,3
		Rockett	10,0	14,5	5,8	5,6	4,7	3,9
		S 188	10,6	9,8	5,1	5,4	3,3	5,2
		Stam 18 A	14,3	15,0	6,6	5,3	4,9	5,8

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	11,5	7,8	5,2	4,7	4,5	3,9
		Guazuncho 2	15,3	11,1	6,0	4,7	4,4	4,3
		H 279-1	14,8	11,2	6,5	4,5	5,8	4,0
		Irma 772	14,1	11,8	4,3	4,6	3,5	3,2
		Irma A 1042	17,0	13,3	6,8	4,7	5,0	4,5
		Mar 88-214	13,3	9,3	4,2	5,5	4,1	3,4
		Oultan	9,5	8,2	5,1	4,3	3,9	3,1
		Rockett	14,0	9,9	5,9	4,6	4,3	3,9
		S 188	12,3	7,6	5,7	4,8	4,5	3,9
		Stam 18 A	15,5	11,7	5,8	5,1	4,9	4,5



**Poids moyen capsulaire (PMC)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	4,0	3,3	3,8	3,1	3,4	3,2
		Guazuncho 2	4,1	3,3	3,5	2,9	3,2	2,9
		H 279-1	4,5	3,5	3,6	3,2	3,6	2,7
		Irma 772	3,9	3,5	3,5	3,1	3,4	3,1
		Irma A 1042	4,8	3,0	4,2	3,0	4,1	2,8
		Mar 88-214	4,2	4,0	3,5	3,6	3,8	3,6
		Oultan	4,2	3,4	3,3	3,6	3,3	3,3
		Rockett	4,4	3,4	3,6	3,1	3,8	3,3
		S 188	4,6	3,1	3,8	3,2	4,0	3,1
		Stam 18 A	4,6	3,4	3,7	3,1	3,8	3,2

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,2	3,4	4,5	2,8	4,9	2,5
		Guazuncho 2	4,7	3,5	4,1	3,2	4,5	2,9
		H 279-1	4,6	3,4	5,0	3,0	4,1	2,9
		Irma 772	5,0	3,2	3,8	3,0	3,5	2,9
		Irma A 1042	4,8	3,0	4,1	3,0	4,2	2,7
		Mar 88-214	5,2	3,6	4,4	3,1	4,6	3,4
		Oultan	4,6	3,5	3,8	3,0	3,9	2,8
		Rockett	5,0	4,2	4,3	3,5	4,4	2,9
		S 188	4,9	3,7	4,5	3,5	4,7	2,8
		Stam 18 A	4,7	3,3	4,4	2,6	4,9	2,8

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	5,2	4,6	4,5	4,5	4,4	3,8
		Guazuncho 2	4,7	5,0	4,1	4,3	3,7	4,3
		H 279-1	4,8	4,2	4,5	4,6	4,0	4,2
		Irma 772	5,2	5,0	4,2	4,8	4,1	4,0
		Irma A 1042	4,9	3,9	4,0	4,8	4,0	4,6
		Mar 88-214	4,2	5,1	4,1	4,5	4,2	4,3
		Oultan	5,7	4,7	4,6	4,7	4,9	5,0
		Rockett	5,1	4,8	3,8	4,8	4,2	4,1
		S 188	5,5	4,1	4,6	4,9	4,2	3,8
		Stam 18 A	5,2	4,9	4,7	4,3	3,9	3,9

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	4,8	4,7	4,0	3,9	3,9	4,0
		Guazuncho 2	4,9	4,0	4,2	3,8	3,6	3,5
		H 279-1	4,5	4,6	4,1	3,8	4,2	3,6
		Irma 772	4,9	4,4	4,2	3,8	4,3	4,0
		Irma A 1042	4,6	4,6	4,3	4,3	3,6	3,9
		Mar 88-214	5,0	4,6	4,3	4,3	4,0	4,2
		Oultan	5,3	5,0	4,4	4,7	4,2	4,0
		Rockett	4,8	4,6	4,4	4,3	4,4	3,7
		S 188	4,8	4,0	4,5	4,5	4,4	4,2
		Stam 18 A	4,5	4,6	4,4	4,1	4,1	4,1

**Pourcentage de capsules sur branches végétatives (%CBV)**

2002	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	10,8	6,2	1,4	0,0	2,7	0,0
		Guazuncho 2	11,9	1,3	5,0	0,0	3,3	0,0
		H 279-1	14,2	4,6	14,3	0,0	6,3	0,0
		Irma 772	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Irma A 1042	24,8	1,6	0,0	0,0	7,1	0,0
		Mar 88-214	12,5	2,0	2,8	1,0	2,8	1,1
		Oultan	13,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Rockett	16,9	0,8	3,3	0,0	1,8	0,0
		S 188	16,6	6,5	1,4	0,0	0,0	1,4
		Stam 18 A	18,2	7,3	3,2	0,0	8,6	0,0

2003	Cana	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	3,3	9,4	5,7	1,0	2,3	1,8
		Guazuncho 2	5,9	11,4	0,0	1,5	0,0	0,0
		H 279-1	6,8	4,9	1,4	1,6	0,0	1,4
		Irma 772	4,3	8,5	1,0	0,0	0,0	3,2
		Irma A 1042	7,5	5,1	7,6	0,0	1,6	0,0
		Mar 88-214	2,0	5,4	3,5	1,6	0,0	0,0
		Oultan	2,2	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		Rockett	4,4	5,2	2,2	0,0	0,0	0,0
		S 188	5,4	10,8	0,0	2,9	0,9	0,0
		Stam 18 A	7,2	9,6	2,2	1,1	0,0	0,0

2002	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	15,3	18,5	1,4	1,2	0,0	1,9
		Guazuncho 2	12,5	16,8	0,9	5,9	0,0	1,0
		H 279-1	19,0	19,2	0,7	6,5	1,0	3,8
		Irma 772	7,8	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0
		Irma A 1042	18,3	17,7	0,8	7,6	1,0	1,1
		Mar 88-214	3,1	10,3	1,1	0,0	0,0	0,0
		Oultan	9,8	10,4	1,6	1,1	0,0	0,0
		Rockett	14,7	16,3	0,0	2,9	0,0	1,9
		S 188	13,5	16,2	0,0	2,5	0,0	2,4
		Stam 18 A	15,4	27,5	0,0	4,5	0,0	1,9

2003	Okpara	Variété	42000		120000		167000	
			précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
		Chaco 520	15,5	11,2	2,3	1,3	0,0	0,0
		Guazuncho 2	12,7	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
		H 279-1	14,9	13,2	1,0	2,5	1,1	0,0
		Irma 772	15,3	16,1	0,0	0,0	0,0	1,9
		Irma A 1042	18,8	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0
		Mar 88-214	17,6	10,9	1,4	1,0	0,0	0,0
		Oultan	10,0	1,6	0,0	3,2	0,0	0,0
		Rockett	16,6	3,6	3,4	0,0	1,3	0,0
		S 188	18,7	11,0	0,0	1,2	0,0	0,0
		Stam 18 A	24,5	17,5	0,0	3,2	0,0	0,0



**Pourcentage de capsules sur branches végétatives (%CBV)**

		42000		120000		167000	
2002	Cana	précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
	Variété						
	Chaco 520	64,5	79,7	79,6	96,1	73,6	90,5
	Guazuncho 2	58,0	81,1	73,9	86,8	75,2	88,4
	H 279-1	58,2	73,1	60,9	84,9	71,9	87,4
	Irma 772	55,9	82,5	71,6	75,9	67,7	88,3
	Irma A 1042	63,1	84,3	89,2	94,4	76,4	94,0
	Mar 88-214	74,5	91,8	73,2	84,3	74,5	95,5
	Oultan	31,6	86,2	61,3	91,6	63,1	92,8
	Rockett	60,0	90,6	81,8	82,3	76,8	94,7
	S 188	62,3	77,3	87,1	88,1	72,8	86,2
	Stam 18 A	58,0	75,6	81,9	87,6	80,1	80,1

		42000		120000		167000	
2003	Cana	précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
	Variété						
	Chaco 520	85,5	85,6	80,0	98,3	92,9	97,8
	Guazuncho 2	85,0	81,5	84,7	98,2	88,2	99,0
	H 279-1	72,4	85,4	75,0	97,6	88,9	98,9
	Irma 772	64,1	79,5	75,3	98,3	88,6	98,5
	Irma A 1042	61,1	82,0	77,9	96,7	76,0	96,6
	Mar 88-214	93,0	88,1	84,1	97,7	87,3	100,0
	Oultan	72,6	83,7	73,2	97,8	68,1	97,5
	Rockett	81,6	88,5	83,3	98,7	88,4	98,9
	S 188	84,9	80,8	87,6	97,1	85,1	98,3
	Stam 18 A	75,2	81,0	82,0	98,3	88,0	98,9

		42000		120000		167000	
2002	Okpara	précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
	Variété						
	Chaco 520	75,1	71,0	94,8	97,8	96,8	96,7
	Guazuncho 2	76,1	75,2	86,6	89,1	88,6	95,8
	H 279-1	65,2	76,3	80,9	84,1	89,8	91,1
	Irma 772	73,3	73,0	87,8	88,2	92,3	95,7
	Irma A 1042	68,6	78,5	84,6	86,7	84,2	94,8
	Mar 88-214	89,8	80,7	96,5	96,6	94,6	100,0
	Oultan	64,8	64,4	79,1	89,9	81,3	84,9
	Rockett	74,4	80,2	91,6	92,9	98,3	98,7
	S 188	71,2	75,5	86,7	87,9	87,0	93,8
	Stam 18 A	67,0	66,5	84,7	93,6	86,4	90,3

		42000		120000		167000	
2003	Okpara	précoce	tardif	précoce	tardif	précoce	tardif
	Variété						
	Chaco 520	72,9	87,6	92,2	98,9	95,0	98,9
	Guazuncho 2	73,3	86,3	84,2	100,0	93,8	100,0
	H 279-1	65,6	79,7	79,5	94,5	74,0	95,1
	Irma 772	65,3	73,8	62,4	92,5	60,8	89,2
	Irma A 1042	67,8	72,4	73,2	100,0	88,4	90,8
	Mar 88-214	76,8	88,3	90,5	97,9	97,0	100,0
	Oultan	65,8	80,7	87,0	88,0	88,8	100,0
	Rockett	72,4	88,8	84,2	99,2	87,6	100,0
	S 188	67,6	89,5	83,1	94,7	93,1	93,7
	Stam 18 A	57,1	76,1	78,4	93,2	86,7	96,7

**ANNEXE 3 : RESULTATS DES ANALYSES DE  
VARIANCE DES DIFFERENTES VARIABLES  
OBSERVEES**



Type 3 Tests of Fixed Effects		Rendement (kg/ha)		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	0.66	0.4412
Lieu	1	8	159.52	<.0001
Annee*Lieu	1	8	19.56	0.0022
DateSemis	1	8	51.50	<.0001
Annee*DateSemis	1	8	6.42	0.0351
Lieu*DateSemis	1	8	13.23	0.0066
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	0.64	0.4459
Densite	2	32	2.27	0.1193
Annee*Densite	2	32	0.67	0.5189
Lieu*Densite	2	32	4.81	0.0149
Annee*Lieu*Densite	2	32	1.02	0.3703
DateSemis*Densite	2	32	4.21	0.0238
Annee*DateSe*Densite	2	32	1.16	0.3261
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.10	0.9089
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	1.02	0.3704
Variete	9	432	36.01	<.0001
Annee*Variete	9	432	2.74	0.0041
Lieu*Variete	9	432	5.62	<.0001
Annee*Lieu*Variete	9	432	2.84	0.0029
DateSemis*Variete	9	432	19.66	<.0001
Annee*DateSe*Variete	9	432	3.31	0.0006
Lieu*DateSem*Variete	9	432	2.76	0.0038
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	1.14	0.3305
Densite*Variete	18	432	2.03	0.0076
Annee*Densit*Variete	18	432	1.00	0.4603
Lieu*Densite*Variete	18	432	0.97	0.4929
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.69	0.8264
DateSe*Densit*Variet	18	432	1.48	0.0940
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	0.95	0.5118
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	1.00	0.4634
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.14	0.3096

Type 3 Tests of Fixed Effects		Nombre de nœuds (NN)		
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	86.69	<.0001
Lieu	1	8	262.08	<.0001
Annee*Lieu	1	8	168.51	<.0001
DateSemis	1	8	52.96	<.0001
Annee*DateSemis	1	8	0.79	0.3994
Lieu*DateSemis	1	8	58.05	<.0001
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	3.60	0.0942
Densite	2	32	99.66	<.0001
Annee*Densite	2	32	0.02	0.9830
Lieu*Densite	2	32	0.63	0.5399
Annee*Lieu*Densite	2	32	0.27	0.7643
DateSemis*Densite	2	32	1.61	0.2164
Annee*DateSe*Densite	2	32	0.23	0.7958
Lieu*DateSem*Densite	2	32	2.13	0.1356
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	0.17	0.8414
Variete	9	432	60.06	<.0001
Annee*Variete	9	432	1.26	0.2596
Lieu*Variete	9	432	4.17	<.0001
Annee*Lieu*Variete	9	432	2.86	0.0028
DateSemis*Variete	9	432	1.54	0.1313
Annee*DateSe*Variete	9	432	0.43	0.9166
Lieu*DateSem*Variete	9	432	1.51	0.1414
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	0.66	0.7459
Densite*Variete	18	432	1.06	0.3873
Annee*Densit*Variete	18	432	0.77	0.7373
Lieu*Densite*Variete	18	432	0.55	0.9340
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.70	0.8113
DateSe*Densit*Variet	18	432	0.92	0.5594
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	0.57	0.9230
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.78	0.7200
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	0.85	0.6365

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	20.65	0.0019
Lieu	1	8	50.39	0.0001
Annee*Lieu	1	8	123.68	<.0001
DateSemis	1	8	50.09	0.0001
Annee*DateSemis	1	8	1.90	0.2052
Lieu*DateSemis	1	8	9.48	0.0151
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	7.37	0.0264
Densite	2	32	90.79	<.0001
Annee*Densite	2	32	0.51	0.6034
Lieu*Densite	2	32	2.01	0.1505
Annee*Lieu*Densite	2	32	0.45	0.6391
DateSemis*Densite	2	32	1.28	0.2910
Annee*DateSe*Densite	2	32	0.29	0.7513
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.33	0.7232
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	0.04	0.9562
Variete	9	432	148.36	<.0001
Annee*Variete	9	432	1.66	0.0965
Lieu*Variete	9	432	4.08	<.0001
Annee*Lieu*Variete	9	432	3.69	0.0002
DateSemis*Variete	9	432	1.98	0.0399
Annee*DateSe*Variete	9	432	2.55	0.0073
Lieu*DateSem*Variete	9	432	3.80	0.0001
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	2.65	0.0053
Densite*Variete	18	432	3.05	<.0001
Annee*Densit*Variete	18	432	0.90	0.5839
Lieu*Densite*Variete	18	432	1.07	0.3752
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.86	0.6258
DateSe*Densit*Variet	18	432	1.26	0.2129
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	1.24	0.2253
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.94	0.5319
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.28	0.1964

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	0.16	0.6998
Lieu	1	8	885.30	<.0001
Annee*Lieu	1	8	49.29	0.0001
DateSemis	1	8	34.61	0.0004
Annee*DateSemis	1	8	8.96	0.0173
Lieu*DateSemis	1	8	3.95	0.0820
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	2.24	0.1729
Densite	2	32	16.17	<.0001
Annee*Densite	2	32	1.19	0.3184
Lieu*Densite	2	32	6.05	0.0059
Annee*Lieu*Densite	2	32	2.37	0.1097
DateSemis*Densite	2	32	2.43	0.1041
Annee*DateSe*Densite	2	32	0.40	0.6714
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.69	0.5100
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	0.51	0.6069
Variete	9	432	90.35	<.0001
Annee*Variete	9	432	2.15	0.0242
Lieu*Variete	9	432	11.33	<.0001
Annee*Lieu*Variete	9	432	1.86	0.0555
DateSemis*Variete	9	432	0.97	0.4618
Annee*DateSe*Variete	9	432	2.01	0.0366
Lieu*DateSem*Variete	9	432	1.91	0.0486
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	2.01	0.0372
Densite*Variete	18	432	2.32	0.0018
Annee*Densit*Variete	18	432	1.09	0.3630
Lieu*Densite*Variete	18	432	1.12	0.3270
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.84	0.6492
DateSe*Densit*Variet	18	432	1.13	0.3182
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	1.19	0.2662
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.98	0.4844
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	0.91	0.5607



Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	0.22	0.6502
Lieu	1	8	45.35	0.0001
Année*Lieu	1	8	4.01	0.0801
DateSemis	1	8	0.24	0.6361
Année*DateSemis	1	8	2.09	0.1867
Lieu*DateSemis	1	8	5.16	0.0527
Année*Lieu*DateSemis	1	8	7.55	0.0251
Densité	2	32	30.32	<.0001
Année*Densité	2	32	0.90	0.4167
Lieu*Densité	2	32	0.01	0.9902
Année*Lieu*Densité	2	32	0.24	0.7860
DateSemis*Densité	2	32	1.18	0.3195
Année*DateSe*Densité	2	32	0.15	0.8602
Lieu*DateSem*Densité	2	32	0.88	0.4256
Année*Lieu*Date*Densité	2	32	1.17	0.3246
Variété	9	432	9.48	<.0001
Année*Variété	9	432	0.77	0.6427
Lieu*Variété	9	432	1.23	0.2720
Année*Lieu*Variété	9	432	0.63	0.7742
DateSemis*Variété	9	432	0.96	0.4736
Année*DateSe*Variété	9	432	0.63	0.7708
Lieu*DateSem*Variété	9	432	1.17	0.3110
Année*Lieu*Date*Variété	9	432	1.22	0.2775
Densité*Variété	18	432	0.96	0.5078
Année*Densité*Variété	18	432	1.07	0.3842
Lieu*Densité*Variété	18	432	1.04	0.4095
Année*Lieu*Densité*Variété	18	432	0.94	0.5318
DateSe*Densité*Variété	18	432	0.86	0.6312
Année*Date*Densité*Variété	18	432	1.35	0.1536
Lieu*Date*Densité*Variété	18	432	0.82	0.6737
Année*Lieu*Date*Densité*Variété	18	432	1.38	0.1345

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	45.2	14.34	0.0004
Lieu	1	45.8	2.87	0.0971
Année*Lieu	1	46.5	43.20	<.0001
DateSemis	1	46	9.31	0.0038
Année*DateSemis	1	47	0.08	0.7735
Lieu*DateSemis	1	47.3	0.68	0.4128
Année*Lieu*DateSemis	1	49.2	9.01	0.0042
Densité	2	43.9	224.52	<.0001
Année*Densité	2	44.1	2.30	0.1125
Lieu*Densité	2	44.9	4.19	0.0215
Année*Lieu*Densité	2	45.8	5.81	0.0057
DateSemis*Densité	2	45.1	3.33	0.0449
Année*DateSe*Densité	2	45	0.58	0.5629
Lieu*DateSem*Densité	2	46.7	1.29	0.2862
Année*Lieu*Date*Densité	2	47.9	0.50	0.6073
Variété	9	364	17.68	<.0001
Année*Variété	9	364	2.40	0.0120
Lieu*Variété	9	364	0.92	0.5105
Année*Lieu*Variété	9	364	1.41	0.1806
DateSemis*Variété	9	365	1.32	0.2241
Année*DateSe*Variété	9	364	0.92	0.5059
Lieu*DateSem*Variété	9	365	0.68	0.7256
Année*Lieu*Date*Variété	9	364	0.54	0.8418
Densité*Variété	18	363	2.81	0.0001
Année*Densité*Variété	18	364	0.93	0.5399
Lieu*Densité*Variété	18	363	0.69	0.8212
Année*Lieu*Densité*Variété	18	364	1.11	0.3378
DateSe*Densité*Variété	18	364	0.72	0.7902
Année*Date*Densité*Variété	18	362	0.70	0.8098
Lieu*Date*Densité*Variété	18	364	1.11	0.3387
Année*Lieu*Date*Densité*Variété	14	363	1.17	0.2925
rep(Année*Lieu)	8	40.2	4.05	0.0013

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	40	127.37	<.0001
Lieu	1	40	47.16	<.0001
Année*Lieu	1	40	91.96	<.0001
DateSemis	1	40	2.51	0.1207
Année*DateSemis	1	40	2.57	0.1170
Lieu*DateSemis	1	40	4.95	0.0319
Année*Lieu*DateSemis	1	40	16.00	0.0003
Densité	2	40	426.27	<.0001
Année*Densité	2	40	2.40	0.1034
Lieu*Densité	2	40	1.72	0.1925
Année*Lieu*Densité	2	40	0.88	0.4223
DateSemis*Densité	2	40	0.55	0.5794
Année*DateSe*Densité	2	40	0.03	0.9734
Lieu*DateSem*Densité	2	40	2.39	0.1045
Année*Lieu*Date*Densi	2	40	0.28	0.7579
Variété	9	432	117.88	<.0001
Année*Variété	9	432	4.42	<.0001
Lieu*Variété	9	432	0.73	0.6812
Année*Lieu*Variété	9	432	0.86	0.5595
DateSemis*Variété	9	432	1.30	0.2344
Année*DateSe*Variété	9	432	0.50	0.8735
Lieu*DateSem*Variété	9	432	2.65	0.0054
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	1.26	0.2581
Densité*Variété	18	432	10.33	<.0001
Année*Densité*Variété	18	432	0.43	0.9817
Lieu*Densité*Variété	18	432	0.65	0.8638
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.61	0.8924
DateSe*Densité*Variet	18	432	1.19	0.2629
Année*Date*Dens*Varie	18	432	0.85	0.6408
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.84	0.6573
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.92	0.0134

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	0.01	0.9219
Lieu	1	8	1.81	0.2150
Année*Lieu	1	8	6.09	0.0388
DateSemis	1	8	0.02	0.8861
Année*DateSemis	1	8	0.80	0.3968
Lieu*DateSemis	1	8	0.15	0.7128
Année*Lieu*DateSemis	1	8	5.20	0.0520
Densité	2	32	0.13	0.8769
Année*Densité	2	32	0.47	0.6302
Lieu*Densité	2	32	1.32	0.2823
Année*Lieu*Densité	2	32	0.76	0.4774
DateSemis*Densité	2	32	0.19	0.8302
Année*DateSe*Densité	2	32	0.18	0.8330
Lieu*DateSem*Densité	2	32	0.11	0.8994
Année*Lieu*Date*Densi	2	32	0.15	0.8594
Variété	9	432	78.12	<.0001
Année*Variété	9	432	1.33	0.2188
Lieu*Variété	9	432	2.24	0.0189
Année*Lieu*Variété	9	432	0.70	0.7084
DateSemis*Variété	9	432	0.57	0.8234
Année*DateSe*Variété	9	432	1.31	0.2275
Lieu*DateSem*Variété	9	432	0.75	0.6618
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	2.07	0.0311
Densité*Variété	18	432	0.99	0.4653
Année*Densité*Variété	18	432	0.55	0.9334
Lieu*Densité*Variété	18	432	0.62	0.8872
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.62	0.8848
DateSe*Densité*Variet	18	432	0.75	0.7630
Année*Date*Dens*Varie	18	432	0.84	0.6579
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.42	0.9828
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.20	0.2600



## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	12.60	0.0075
Lieu	1	8	2.61	0.1450
Année*Lieu	1	8	10.98	0.0106
DateSemis	1	8	14.29	0.0054
Année*DateSemis	1	8	1.20	0.3051
Lieu*DateSemis	1	8	2.63	0.1435
Année*Lieu*DateSemis	1	8	0.39	0.5502
Densité	2	32	17.10	<.0001
Année*Densité	2	32	0.85	0.4389
Lieu*Densité	2	32	0.14	0.8737
Année*Lieu*Densité	2	32	0.28	0.7576
DateSemis*Densité	2	32	1.65	0.2079
Année*DateSe*Densité	2	32	0.02	0.9804
Lieu*DateSem*Densité	2	32	1.30	0.2868
Année*Lieu*Date*Densi	2	32	0.42	0.6615
Variété	9	432	109.75	<.0001
Année*Variété	9	432	1.45	0.1630
Lieu*Variété	9	432	0.97	0.4641
Année*Lieu*Variété	9	432	2.17	0.0231
DateSemis*Variété	9	432	2.87	0.0027
Année*DateSe*Variété	9	432	3.42	0.0004
Lieu*DateSem*Variété	9	432	1.25	0.2630
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	1.71	0.0845
Densité*Variété	18	432	1.54	0.0735
Année*Densité*Variété	18	432	0.69	0.8266
Lieu*Densité*Variété	18	432	1.13	0.3226
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.98	0.4827
DateSe*Densité*Variet	18	432	1.09	0.3611
Année*Date*Dens*Varie	18	432	1.11	0.3369
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.68	0.8334
Ann*Lic*Dat*Den*Vari	18	432	0.80	0.7016

## Type 3 Tests of Fixed Effects

## date d'ouverture de la première capsule (OPCM)

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	9.70	0.0144
Lieu	1	8	69.08	<.0001
Année*Lieu	1	8	53.15	<.0001
DateSemis	1	8	25.01	0.0011
Année*DateSemis	1	8	0.58	0.4673
Lieu*DateSemis	1	8	18.94	0.0024
Année*Lieu*DateSemis	1	8	0.51	0.4970
Densité	2	32	84.69	<.0001
Année*Densité	2	32	0.49	0.6167
Lieu*Densité	2	32	3.67	0.0368
Année*Lieu*Densité	2	32	0.02	0.9758
DateSemis*Densité	2	32	0.55	0.5829
Année*DateSe*Densité	2	32	0.86	0.4339
Lieu*DateSem*Densité	2	32	0.25	0.7831
Année*Lieu*Date*Densi	2	32	2.36	0.1107
Variété	9	432	136.06	<.0001
Année*Variété	9	432	1.78	0.0702
Lieu*Variété	9	432	1.78	0.0693
Année*Lieu*Variété	9	432	2.54	0.0076
DateSemis*Variété	9	432	2.16	0.0237
Année*DateSe*Variété	9	432	2.51	0.0083
Lieu*DateSem*Variété	9	432	1.53	0.1349
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	2.41	0.0112
Densité*Variété	18	432	1.78	0.0258
Année*Densité*Variété	18	432	0.92	0.5510
Lieu*Densité*Variété	18	432	0.92	0.5556
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.95	0.5208
DateSe*Densité*Variet	18	432	0.81	0.6939
Année*Date*Dens*Varie	18	432	1.98	0.0097
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.62	0.8861
Ann*Lic*Dat*Den*Vari	18	432	2.11	0.0052

## Type 3 Tests of Fixed Effects:

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	0,57	0,4707
Lieu	1	8	9,74	0,0144
Année*Lieu	1	8	11,06	0,0106
DateSemis	1	8	9,27	0,0161
Année*DateSemis	1	8	10,59	0,0118
Lieu*DateSemis	1	8	0,6	0,4621
Année*Lieu*DateSemis	1	8	1,41	0,269
densité	2	29	14,61	<,0001
Année*densité	2	29	2,65	0,0871
Lieu*densité	2	29	0,11	0,8927
Année*Lieu*densité	2	29	1,17	0,3254
DateSemis*densité	2	29	0,42	0,6606
Année*DateSe*densité	2	29	6,38	0,005
Lieu*DateSem*densité	2	29	1,57	0,225
Année*Lieu*Date*densi	2	29	6,23	0,0056
Variété	9	414	17,96	<,0001
Année*Variété	9	414	2,35	0,0134
Lieu*Variété	9	414	0,87	0,5513
Année*Lieu*Variété	9	414	1,23	0,2761
DateSemis*Variété	9	414	1,25	0,2607
Année*DateSe*Variété	9	414	1,12	0,3451
Lieu*DateSem*Variété	9	414	0,99	0,4457
Année*Lieu*Date*Varie	9	414	1,53	0,1353
densité*Variété	18	414	1,17	0,285
Année*densit*Variété	18	414	0,85	0,6375
Lieu*densité*Variété	18	414	1,1	0,3483
Année*Lieu*dens*Varie	18	414	0,9	0,5743
DateSe*densit*Variet	18	414	1,18	0,2698
Année*Date*dens*Varie	18	414	1,07	0,3793
Lieu*Date*dens*Varie	18	414	1,24	0,2228
Ann*Lie*Dat*den*Vari	18	414	1,27	0,2006

## Type 3 Tests of Fixed Effects:

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	7,91	1,32	0,2848
Lieu	1	7,91	14,3	0,0055
Année*Lieu	1	7,91	1,92	0,2036
DateSemis	1	7,91	23,37	0,0013
Année*DateSemis	1	7,91	13,37	0,0066
Lieu*DateSemis	1	7,91	0,01	0,9421
Année*Lieu*DateSemis	1	7,91	2,1	0,1859
densité	2	29,8	36,78	<,0001
Année*densité	2	29,8	1,38	0,2663
Lieu*densité	2	29,8	0,04	0,9599
Année*Lieu*densité	2	29,8	1,38	0,2663
DateSemis*densité	2	29,8	0,01	0,9861
Année*DateSe*densité	2	29,8	6,35	0,005
Lieu*DateSem*densité	2	29,8	0,55	0,5822
Année*Lieu*Date*densi	2	29,8	6,46	0,0047
Variété	9	414	8,02	<,0001
Année*Variété	9	414	2,12	0,0266
Lieu*Variété	9	414	0,67	0,7386
Année*Lieu*Variété	9	414	1,62	0,1071
DateSemis*Variété	9	414	1,72	0,082
Année*DateSe*Variété	9	414	0,66	0,7488
Lieu*DateSem*Variété	9	414	0,95	0,4817
Année*Lieu*Date*Varie	9	414	1,18	0,3058
densité*Variété	18	414	1,08	0,3671
Année*densit*Variété	18	414	0,81	0,694
Lieu*densité*Variété	18	414	1,31	0,1777
Année*Lieu*dens*Varie	18	414	0,84	0,6565
DateSe*densit*Variet	18	414	1,22	0,24
Année*Date*dens*Varie	18	414	0,96	0,5051
Lieu*Date*dens*Varie	18	414	1,05	0,4022
Ann*Lie*Dat*den*Vari	18	414	1,15	0,2977



## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	40	5.23	0.0276
Lieu	1	40	243.98	<.0001
Année*Lieu	1	40	130.78	<.0001
DateSemis	1	40	135.67	<.0001
Année*DateSemis	1	40	40.63	<.0001
Lieu*DateSemis	1	40	68.05	<.0001
Année*Lieu*DateSemis	1	40	8.59	0.0056
Densité	2	40	11.74	<.0001
Année*Densité	2	40	0.20	0.8169
Lieu*Densité	2	40	2.52	0.0934
Année*Lieu*Densité	2	40	0.92	0.4079
DateSemis*Densité	2	40	2.23	0.1210
Année*DateSe*Densité	2	40	2.46	0.0980
Lieu*DateSem*Densité	2	40	0.30	0.7419
Année*Lieu*Date*Densi	2	40	5.64	0.0070
Variété	9	432	81.44	<.0001
Année*Variété	9	432	3.40	0.0005
Lieu*Variété	9	432	25.32	<.0001
Année*Lieu*Variété	9	432	3.42	0.0004
DateSemis*Variété	9	432	2.09	0.0295
Année*DateSe*Variété	9	432	5.25	<.0001
Lieu*DateSem*Variété	9	432	2.63	0.0058
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	2.41	0.0113
Densité*Variété	18	432	1.26	0.2079
Année*Densité*Variété	18	432	1.16	0.2959
Lieu*Densité*Variété	18	432	1.75	0.0297
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	1.52	0.0793
DateSe*Densité*Variet	18	432	1.53	0.0743
Année*Date*Dens*Varie	18	432	1.56	0.0680
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	1.45	0.1059
Ann*Lieu*Dat*Den*Vari	18	432	0.76	0.7428

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	40.1	119.77	<.0001
Lieu	1	40.1	53.64	<.0001
Année*Lieu	1	40.1	58.94	<.0001
DateSemis	1	40.1	27.35	<.0001
Année*DateSemis	1	40.1	3.74	0.0604
Lieu*DateSemis	1	40.1	69.88	<.0001
Année*Lieu*DateSemis	1	40.1	23.52	<.0001
Densité	2	40.1	337.83	<.0001
Année*Densité	2	40.1	1.42	0.2537
Lieu*Densité	2	40.1	0.31	0.7379
Année*Lieu*Densité	2	40.1	1.18	0.3183
DateSemis*Densité	2	40.1	0.35	0.7037
Année*DateSe*Densité	2	40.1	0.33	0.7228
Lieu*DateSem*Densité	2	40.1	0.97	0.3889
Année*Lieu*Date*Densi	2	40.1	1.56	0.2216
Variété	9	432	20.85	<.0001
Année*Variété	9	432	1.97	0.0408
Lieu*Variété	9	432	1.60	0.1135
Année*Lieu*Variété	9	432	2.30	0.0156
DateSemis*Variété	9	432	1.39	0.1917
Année*DateSe*Variété	9	432	1.35	0.2085
Lieu*DateSem*Variété	9	432	0.76	0.6509
Année*Lieu*Date*Varie	9	432	0.85	0.5670
Densité*Variété	18	432	3.73	<.0001
Année*Densité*Variété	18	432	1.38	0.1383
Lieu*Densité*Variété	18	432	1.03	0.4220
Année*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.58	0.9140
DateSe*Densité*Variet	18	432	0.72	0.7911
Année*Date*Dens*Varie	18	432	0.85	0.6409
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	1.11	0.3378
Ann*Lieu*Dat*Den*Vari	18	432	1.69	0.0384

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	24.68	0.0011
Lieu	1	8	15.98	0.0040
Annee*Lieu	1	8	28.49	0.0007
DateSemis	1	8	0.00	0.9464
Annee*DateSemis	1	8	0.39	0.5501
Lieu*DateSemis	1	8	11.85	0.0088
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	0.00	0.9464
Densite	2	32	18.02	<.0001
Annee*Densite	2	32	0.31	0.7322
Lieu*Densite	2	32	0.34	0.7174
Annee*Lieu*Densite	2	32	0.57	0.5719
DateSemis*Densite	2	32	1.61	0.2152
Annee*DateSe*Densite	2	32	0.10	0.9059
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.84	0.4425
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	0.49	0.6200
Variete	9	432	12.61	<.0001
Annee*Variete	9	432	1.84	0.0589
Lieu*Variete	9	432	2.06	0.0317
Annee*Lieu*Variete	9	432	0.92	0.5082
DateSemis*Variete	9	432	3.42	0.0004
Annee*DateSe*Variete	9	432	3.42	0.0004
Lieu*DateSem*Variete	9	432	1.13	0.3413
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	0.47	0.8945
Densite*Variete	18	432	1.29	0.1896
Annee*Densit*Variete	18	432	0.82	0.6755
Lieu*Densite*Variete	18	432	1.20	0.2526
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.82	0.6802
DateSe*Densit*Variet	18	432	1.16	0.2945
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	0.67	0.8438
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	1.23	0.2359
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.84	0.0192

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	18.15	0.0028
Lieu	1	8	128.84	<.0001
Annee*Lieu	1	8	33.53	0.0004
DateSemis	1	8	1.44	0.2649
Annee*DateSemis	1	8	0.71	0.4244
Lieu*DateSemis	1	8	14.06	0.0056
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	4.92	0.0573
Densite	2	32	70.67	<.0001
Annee*Densite	2	32	2.82	0.0748
Lieu*Densite	2	32	0.52	0.5990
Annee*Lieu*Densite	2	32	1.66	0.2055
DateSemis*Densite	2	32	1.86	0.1719
Annee*DateSe*Densite	2	32	0.37	0.6917
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.46	0.6367
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	0.09	0.9144
Variete	9	432	19.04	<.0001
Annee*Variete	9	432	1.19	0.3026
Lieu*Variete	9	432	1.25	0.2619
Annee*Lieu*Variete	9	432	0.93	0.5004
DateSemis*Variete	9	432	3.04	0.0015
Annee*DateSe*Variete	9	432	2.38	0.0124
Lieu*DateSem*Variete	9	432	0.87	0.5496
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	1.48	0.1531
Densite*Variete	18	432	1.71	0.0345
Annee*Densit*Variete	18	432	0.70	0.8090
Lieu*Densite*Variete	18	432	0.66	0.8541
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.51	0.9553
DateSe*Densit*Variet	18	432	0.88	0.6033
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	0.91	0.5660
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	1.53	0.0760
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.14	0.3099



## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	1.99	0.1959
Lieu	1	8	1.70	0.2283
Année*Lieu	1	8	0.00	0.9863
DateSemis	1	8	4.98	0.0562
Année*DateSemis	1	8	0.93	0.3637
Lieu*DateSemis	1	8	0.50	0.5017
Année*Lieu*DateSemis	1	8	2.57	0.1477
Densité	2	32	288.91	<.0001
Année*Densité	2	32	0.20	0.8190
Lieu*Densité	2	32	1.29	0.2900
Année*Lieu*Densité	2	32	0.27	0.7640
DateSemis*Densité	2	32	2.78	0.0773
Année*DateSemis*Densité	2	32	0.08	0.9189
Lieu*DateSemis*Densité	2	32	0.13	0.8776
Année*Lieu*DateSemis*Densité	2	32	1.85	0.1740
Variété	9	432	21.12	<.0001
Année*Variété	9	432	3.18	0.0010
Lieu*Variété	9	432	1.56	0.1262
Année*Lieu*Variété	9	432	0.47	0.8952
DateSemis*Variété	9	432	4.02	<.0001
Année*DateSemis*Variété	9	432	1.25	0.2600
Lieu*DateSemis*Variété	9	432	1.47	0.1572
Année*Lieu*DateSemis*Variété	9	432	0.65	0.7566
Densité*Variété	18	432	5.89	<.0001
Année*Densité*Variété	18	432	1.16	0.2892
Lieu*Densité*Variété	18	432	1.10	0.3489
Année*Lieu*Densité*Variété	18	432	0.20	0.9999
DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.87	0.0171
Année*DateSemis*Densité*Variété	18	432	0.55	0.9355
Lieu*DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.40	0.1253
Année*Lieu*DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.98	0.0100

## Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Année	1	8	0.20	0.6694
Lieu	1	8	123.53	<.0001
Année*Lieu	1	8	13.70	0.0060
DateSemis	1	8	75.82	<.0001
Année*DateSemis	1	8	13.38	0.0064
Lieu*DateSemis	1	8	48.69	0.0001
Année*Lieu*DateSemis	1	8	4.64	0.0633
Densité	2	32	70.74	<.0001
Année*Densité	2	32	0.23	0.7928
Lieu*Densité	2	32	1.88	0.1697
Année*Lieu*Densité	2	32	0.08	0.9256
DateSemis*Densité	2	32	7.08	0.0029
Année*DateSemis*Densité	2	32	3.01	0.0636
Lieu*DateSemis*Densité	2	32	0.23	0.7957
Année*Lieu*DateSemis*Densité	2	32	0.72	0.4932
Variété	9	432	4.69	<.0001
Année*Variété	9	432	1.28	0.2455
Lieu*Variété	9	432	4.60	<.0001
Année*Lieu*Variété	9	432	1.13	0.3387
DateSemis*Variété	9	432	3.48	0.0004
Année*DateSemis*Variété	9	432	1.95	0.0441
Lieu*DateSemis*Variété	9	432	2.80	0.0033
Année*Lieu*DateSemis*Variété	9	432	2.67	0.0051
Densité*Variété	18	432	1.08	0.3684
Année*Densité*Variété	18	432	1.02	0.4404
Lieu*Densité*Variété	18	432	0.66	0.8518
Année*Lieu*Densité*Variété	18	432	1.43	0.1121
DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.40	0.1264
Année*DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.26	0.2104
Lieu*DateSemis*Densité*Variété	18	432	0.55	0.9330
Année*Lieu*DateSemis*Densité*Variété	18	432	1.13	0.3180

Type 3 Tests of Fixed Effects	Pourcentage de capsules sur BV (%CBV)			
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	40	7.32	0.0100
Lieu	1	40	14.62	0.0004
Annee*Lieu	1	40	0.03	0.8608
DateSemis	1	40	10.09	0.0029
Annee*DateSemis	1	40	2.71	0.1073
Lieu*DateSemis	1	40	22.71	<.0001
Annee*Lieu*DateSemis	1	40	41.13	<.0001
Densite	2	40	312.63	<.0001
Annee*Densite	2	40	0.48	0.6232
Lieu*Densite	2	40	24.06	<.0001
Annee*Lieu*Densite	2	40	0.57	0.5709
DateSemis*Densite	2	40	3.12	0.0552
Annee*DateSe*Densite	2	40	1.10	0.3422
Lieu*DateSem*Densite	2	40	0.62	0.5455
Anne*Lieu*Date*Densi	2	40	6.86	0.0027
Variete	9	432	6.67	<.0001
Annee*Variete	9	432	1.96	0.0428
Lieu*Variete	9	432	0.70	0.7116
Annee*Lieu*Variete	9	432	1.60	0.1126
DateSemis*Variete	9	432	1.47	0.0373
Annee*DateSe*Variete	9	432	0.91	0.5160
Lieu*DateSem*Variete	9	432	2.07	0.0313
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	1.32	0.2261
Densite*Variete	18	432	1.78	0.0257
Annee*Densit*Variete	18	432	1.21	0.2471
Lieu*Densite*Variete	18	432	0.72	0.7890
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	1.04	0.4078
DateSe*Densit*Variet	18	432	1.00	0.4530
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	1.20	0.2587
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.77	0.7405
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.36	0.1488

Type 3 Tests of Fixed Effects	Pourcentage de capsules sur BF 1 à 7 (%CBF1_7)			
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Annee	1	8	15.74	0.0041
Lieu	1	8	3.40	0.1024
Annee*Lieu	1	8	10.62	0.0115
DateSemis	1	8	71.81	<.0001
Annee*DateSemis	1	8	5.77	0.0430
Lieu*DateSemis	1	8	3.26	0.1085
Annee*Lieu*DateSemis	1	8	5.42	0.0483
Densite	2	32	77.64	<.0001
Annee*Densite	2	32	0.27	0.7677
Lieu*Densite	2	32	2.88	0.0710
Annee*Lieu*Densite	2	32	0.92	0.4096
DateSemis*Densite	2	32	1.94	0.1598
Annee*DateSe*Densite	2	32	4.35	0.0213
Lieu*DateSem*Densite	2	32	0.00	0.9977
Anne*Lieu*Date*Densi	2	32	1.81	0.1795
Variete	9	432	12.80	<.0001
Annee*Variete	9	432	2.40	0.0116
Lieu*Variete	9	432	2.04	0.0341
Annee*Lieu*Variete	9	432	1.71	0.0853
DateSemis*Variete	9	432	2.12	0.0269
Annee*DateSe*Variete	9	432	0.67	0.7335
Lieu*DateSem*Variete	9	432	1.97	0.0414
Anne*Lieu*Date*Varie	9	432	0.60	0.8006
Densite*Variete	18	432	1.50	0.0860
Annee*Densit*Variete	18	432	1.27	0.2051
Lieu*Densite*Variete	18	432	0.77	0.7349
Anne*Lieu*Dens*Varie	18	432	0.95	0.5131
DateSe*Densit*Variet	18	432	0.94	0.5333
Anne*Date*Dens*Varie	18	432	0.96	0.5035
Lieu*Date*Dens*Varie	18	432	0.63	0.8772
Ann*Lie*Dat*Den*Vari	18	432	1.17	0.2843



## Improvement of effectiveness of cotton *Gossypium hirsutum* L. yield selection in a context of new technical cropping systems

---

### SUMMARY

---

In most cotton areas of Western and Central Africa, cotton is primarily rainfed and sowing dates are more and more spread out in time. Such changes need the development of new cropping systems and new genetic material to fit them. The cotton breeding programs have to diversify their breeding objectives in order to develop the varieties adapted to later sowing dates and increased plant stands. In this work we studied the production strategies of several varieties of cotton *Gossypium hirsutum* L. in order to identify the most productive strategies, to translate them into selection criteria and to develop effective strategies for yield improvement in rainfed culture. Four trials were carried out between 2002 and 2003 at Parakou and Bohicon (Benin). They compared ten varieties under three densities and two sowing dates. The observations focused on phenology and flowering, architecture, boll retention and distribution. They were related to yield and its components. We could test a new indicator of the cut-out status of a plant, the date of the last flower giving rise to a first-position boll on fruiting branches (LFP1), and we put-up a simplified method to estimate it. This indicator made it possible to estimate the effective flowering time (EFT) of each variety. We noted that late sowing and high stands have similar effects: they delay first flower opening date (FF), shorten EFT, reduce the vegetative growth, and decrease the production as well as the bolls retention rate. Bolls are concentrated on the lower parts of the plants. Due to the high genetic variability noted for most criteria, we could highlight three varieties which represented productive types: (i) the "Mar 88-214" type, performing well in late sowing conditions and at high stands, was characterized through its moderate vegetative growth associated to early flowering, short flowering period, and low boll retention; (ii) the "H 279-1" type, performing well in general but specially when sown early and at low stand, was characterized by its vegetative growth, late flowering, longer EFT and high boll retention; (iii) the "Guazuncho 2" type, productive in every situations, was intermediate between both previous types, with a rather long EFT, and a high boll retention rate. In conclusion, we proposed three breeding strategies. They involved 8 heritable criteria: plant height (HT), height to node ratio (HNR), length of fruiting branches (LFB), number of vegetative branches (NVB), first flower opening date (PFM), or length of vegetative branches (LVB), effective flowering time (EFT) and boll retention at the first fruiting branches position (RP1).

**Key words:** Cotton plant, *Gossypium hirsutum* L., Effective flowering time, yield, sowing date, density, varietal strategy, strategy of selection.

**Amélioration de l'efficacité de la sélection pour le rendement en coton graine du cotonnier *Gossypium hirsutum* L. dans un contexte de nouveaux itinéraires techniques**

---

**RESUME**

---

Dans la plupart des régions cotonnières d'Afrique de l'ouest et du centre où la culture est essentiellement pluviale, l'étalement croissant des dates de semis du coton entraîne une diversification des itinéraires techniques. Pour produire du matériel végétal adapté, la sélection cotonnière doit diversifier ses objectifs de création variétale. Nous avons donc étudié les stratégies de mise en place de la production chez différentes variétés de cotonnier *Gossypium hirsutum* L afin d'en identifier les plus productives, de les traduire en critères de sélection et de mettre au point des stratégies efficaces pour l'amélioration du rendement dans plusieurs situations de culture pluviale. Quatre essais conduits entre 2002 et 2003 dans deux localités cotonnières du Bénin ont permis de comparer dix variétés à trois densités et à deux dates de semis. Les observations ont porté sur la phénologie et la floraison, l'architecture, la rétention et la répartition des capsules. Ces observations ont été mises en relation avec le rendement et ses composantes. Dans ce travail, nous avons défini un nouvel indicateur de fin de floraison, la date de la dernière fleur en première position de branche fructifère, et proposé une méthode simplifiée pour l'estimer. Cet indicateur a permis de calculer plus précisément le temps de floraison utile (TFU) qui a bien discriminé le matériel génétique étudié. Nous avons constaté que le retard de semis et l'augmentation de la densité ont des effets similaires : ils retardent l'apparition de la première fleur, raccourcissent le temps de floraison utile, réduisent le développement végétatif de la plante, diminuent la production et le taux de rétention de capsules. La production capsulaire est concentrée sur les parties basses du plant. Grâce à la forte variabilité génétique constatée pour la plupart des critères utilisés, nous avons identifié trois types variétaux plus productifs que les autres : (i) le type Mar 88-214, performant en semis tardif et à forte densité, se caractérise par une faible croissance végétative associé à une entrée précoce en floraison, un temps de floraison court, un faible taux de rétention capsulaire en première position de branche fructifère ; (ii) le type H 279-1, généralement performant mais plus particulièrement en semis précoce et à faible densité, se caractérise par une forte croissance végétative, une floraison tardive, un temps de floraison utile plus long, un fort taux de rétention en première position de branche fructifère ; (iii) le type Guazuncho 2, productif dans toutes les conditions de semis, se caractérise par un profil intermédiaire entre les deux extrêmes précédents, avec un temps de floraison utile parmi les plus élevés et un fort taux de rétention en premières positions. En conclusion, nous proposons trois stratégies de sélection pour ces trois types variétaux. Elles s'appuient sur la mise en œuvre de 8 critères d'héritabilité forte comme la taille (HT), la longueur des entrenœuds (HNR), la longueur des branches fructifères (LBF), le nombre des branches végétatives (NBV) , la date d'apparition de la première fleur (PFM), ou moyenne comme la longueur des branches végétatives (LBV), le temps de floraison utile (TFU) et le taux de rétention en première position de branches fructifères (RP1).

**Mots-clés :** Cotonnier, *Gossypium hirsutum* L., temps de floraison utile, rendement, date de semis, densité, stratégie variétale, stratégie de sélection.